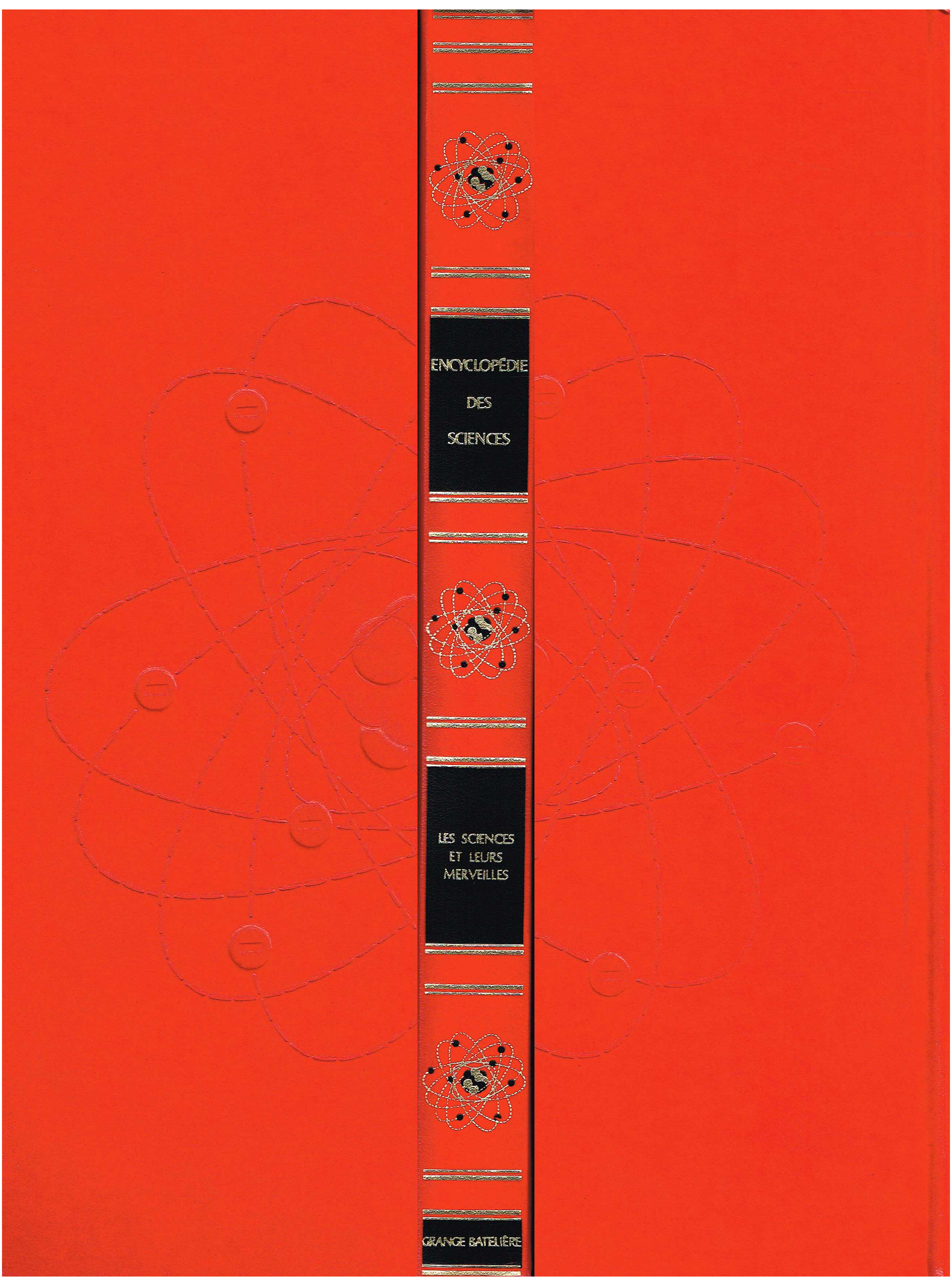

ENCYCLOPÉDIE
DES
SCIENCES
LES SCIENCES
ET LEURS
MERVEILLES
GRANGE BATELIÈRE

GRANDE ENCYCLOPÉDIE ALPHA DES SCIENCES ET DES TECHNIQUES

GRANGE BATELIÈRE, ÉDITIONS ATLAS, PARIS - ÉDITIONS KISTER, GENÈVE
ÉDITIONS ÉRASME, BRUXELLES-ANVERS

© Istituto Geografico de Agostini, Novara.
© Éditions Atlas, Paris - 1978.
Dépôt légal : 4e trimestre 1978.
Imprimé en Italie par I.G.D.A. Officine Grafiche, Novara.

LES SCIENCES ET LEURS MERVEILLES

SOMMAIRE

LA GÉOLOGIE

L'ASTRONOMIE - LA PHYSIQUE DU GLOBE

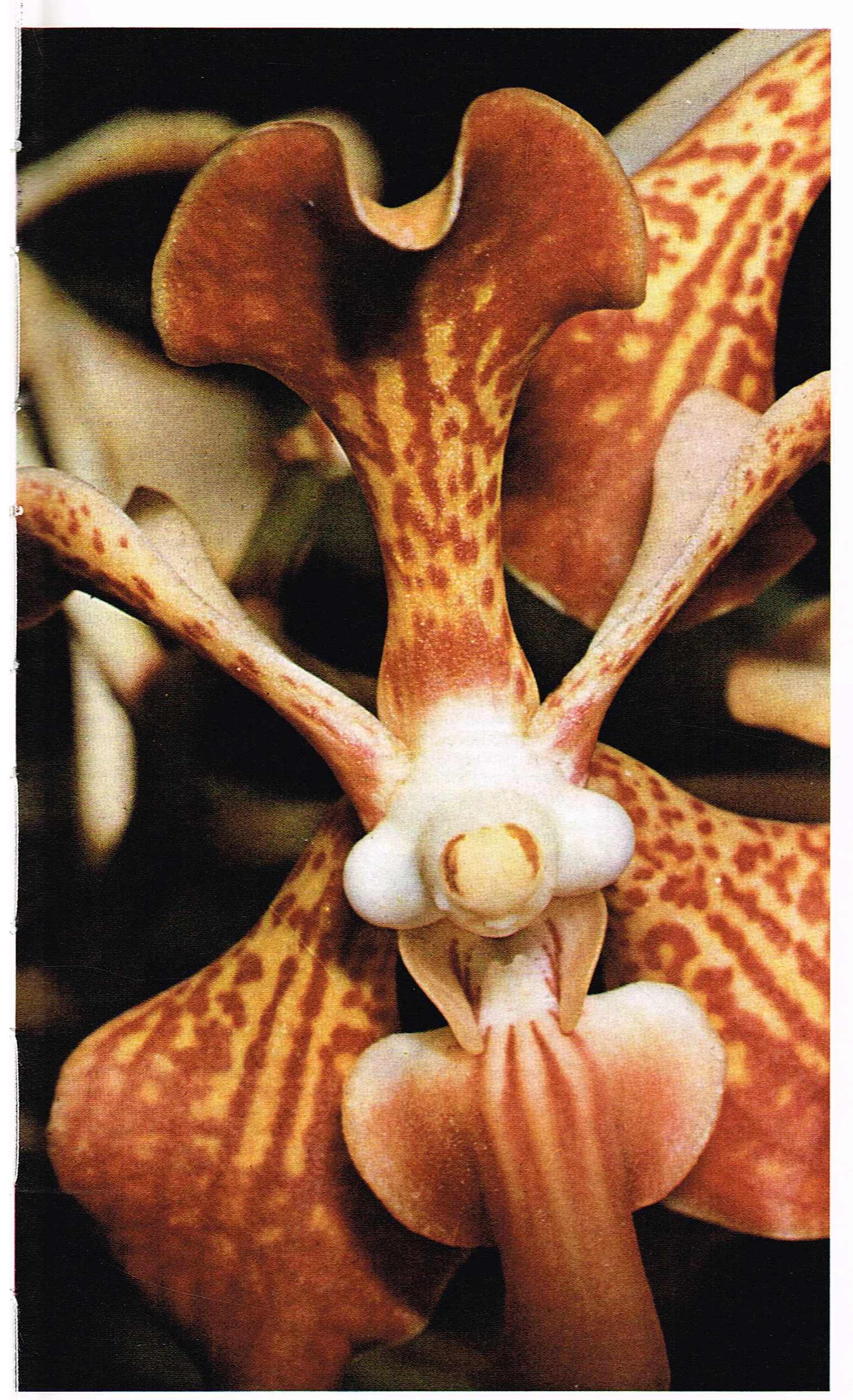
LA CHIMIE

LA PHYSIQUE

LA BOTANIQUE

Dans la nature, le monde des végétaux, riche et diversifié, nous offre des merveilles à profusion.
Nous avons choisi de vous faire mieux connaître celles dont l'homme aime à s'entourer, celles qui viennent jusque dans nos jardins et nos maisons égayer notre cadre de vie.
Vous découvrirez l'origine de vos fleurs préférées, vous serez surpris par l'immense variété des races, vous verrez ces splendeurs avec un œil neuf et vous percevrez quelle perfection elles représentent. Ces merveilles le sont en effet à double titre : merveilles par essence, mais embellies et multipliées par les soins et le travail de sélection de générations d'hommes.

LES ORCHIDÉES



Bavestrelli - Bevilacqua - Prato

Par la diversité de leurs formes, la beauté de leurs couleurs et la subtilité de leurs parfums, les Orchidées comptent parmi les plus belles et les plus étranges fleurs du règne végétal. Elles sont devenues le symbole du raffinement et de la distinction. Sans doute est-ce pour cette raison qu'on les croit rares, alors qu'il en existe près de vingt mille espèces, et difficiles à cultiver, alors qu'elles débordent de vitalité. Autant de paradoxes qui invitent à les étudier d'un peu plus près...

La vie des Orchidées

Les Orchidées ou Orchidacées sont divisées en deux groupes : les plantes terrestres et les plantes épiphytes qui se développent sans aucun contact avec le sol.

Les deux types d'Orchidées présentent les mêmes caractères botaniques fondamentaux. La forme des feuilles varie d'un contour ovulaire ou arrondi à un contour linéaire. Les fleurs sont solitaires ou réunies par couples, ou bien encore groupées en épis ou en grappes.

Les Orchidées terrestres comme les Orchidées épiphytes ne peuvent se féconder et croître seules ; leur multiplication dépend d'un certain nombre de « collaborateurs extérieurs » qui interviennent à ces deux stades de leur vie.

Quoique hermaphrodites, les Orchidées présentent au niveau de l'appareil floral des particularités anatomiques qui interdisent l'autofécondation. Ce sont les Insectes qui, en butinant, réalisent la pollinisation. On peut voir en France un exemple spectaculaire de cette association Insecte-fleur lorsque, au mois de mai ou de juin, l'ophrys abeille fleurit sur les coteaux herbeux. Sa forme, sa couleur, l'odeur même qu'il dégage rappellent irrésistiblement une abeille. Le bourdon, abusé par ces apparences, cherche à s'accoupler avec la fleur, et il repart coiffé par les pollinies de l'ophrys.

Parce qu'elles sont très petites et presque totalement dépourvues de substances de réserve, les graines des Orchidées ne peuvent se développer par elles-mêmes. Pour parvenir à maturité, elles ont besoin d'un Champignon Basidiomycète microscopique (Rhizoctonia) *qui, vivant en symbiose avec la plante, lui fournit sa nourriture. Chaque espèce d'Orchidée est associée à un Champignon différent et spécifique.*

Les Orchidées épiphytes méritent une mention particulière. Ces plantes vivent loin du sol, accrochées le plus souvent à des arbres mais aussi à des rochers. Leurs racines aériennes pendent librement dans l'air en longs filaments. Grâce à un tissu spécial, elles absorbent l'eau et l'humidité atmosphérique. Ces Orchidées croissent donc le plus souvent dans des régions où les pluies sont fréquentes et abondantes : forêts tropicales et subtropicales.

Orchidées de notre flore et Orchidées tropicales

Quand on parle d'Orchidées, on imagine aussitôt la vitrine d'un fleuriste de luxe où s'épanouissent les spécimens les plus rares et les plus somptueux. Peu de gens savent qu'il existe aussi des Orchidées en France. Plus modestes que les espèces exotiques, elles n'en sont pas moins décoratives. Une cueillette abusive réduisant leur nombre, certaines Orchidées de montagne sont maintenant protégées afin d'éviter leur disparition.

Parmi les Orchidées de nos régions, la plus remarquable est le cypripède ou sabot de Vénus (Cypripedium calceolus), *brun pourpre et jaune, que l'on trouve dans le*

La fleur fascinante d'un vanda, Orchidée d'Asie méridionale et d'Océanie.

commerce des fleurs coupées. Nous avons déjà parlé des ophrys, ces Orchidées qui imitent les Insectes; nous citerons encore la nigritelle (Nigritella nigra), *charmante espèce montagnarde au parfum vanillé, et* Neottia nidus avis, *roussâtre, qui possède des racines en forme de nid d'Oiseau.*

Les Orchidées tropicales sont somptueuses, insolites de formes et de couleurs. Les espèces les plus répandues sont les Paphiopedilum, *originaires de Nouvelle-Guinée, des Philippines et de Malaisie. Les fleuristes proposent souvent des corbeilles de* Cattleya, *beaux entre tous. Ils proviennent des forêts tropicales d'Amérique où ils poussent sur les troncs et les branches d'arbres. Le Mexique s'enorgueillit des* Stanhopea; *parmi eux,* Stanhopea tigrina *exhale un merveilleux parfum de vanille.*

Un peu d'histoire

C'est en 1615 qu'Hernandez décrivit pour la première fois une Orchidée exotique, Laelia majalis *du Mexique. En 1688, Jean Ray mentionna* Disa grandiflora *du Cap dans son* Histoire des plantes.

Dès 1731, les Anglais rapportèrent des Bahamas Cypripedium reginae *et tentèrent de le cultiver en Europe. Curiosités de jardins botaniques, ces fleurs devinrent très vite l'objet d'un commerce de luxe. Leur prix était très élevé car on les obtenait difficilement par semis : il fallut attendre qu'en 1899 le botaniste français Noël Bernard découvrît le rôle joué par les Champignons dans la germination des Orchidées pour que ce mode de culture devînt possible. Depuis, les horticulteurs n'ont cessé de créer de nombreux hybrides dont ils peuvent varier les formes et les couleurs selon la demande du marché des fleurs coupées.*

Culture en serre

La plupart des Orchidées cultivées à des fins commerciales proviennent des pays chauds. Leur culture se fait donc généralement dans des serres qui reproduisent leur milieu d'origine. Elle nécessite un personnel spécialisé, exige énormément de patience et de soins.

Il faut en effet attendre un an pour que les fruits mûrissent et une seconde année pour que les graines produisent des plantules : les graines sont cultivées soit aseptiquement sur gélose en présence d'une souche convenable de Rhizoctonia, *soit sur un milieu enrichi en sucres et autres substances (vitamine, hormones végétales, etc.).*

Au bout de deux ans, les plantules sont transplantées dans un compost où le Champignon spécifique de l'espèce cultivée a été introduit. Il faudra plusieurs années pour obtenir la première floraison, et encore sera-t-elle peu colorée.

Pendant leur période végétative, la plupart des espèces tropicales réclament de la lumière, une température élevée, une atmosphère humide, aérée mais peu ventilée, et surtout un arrosage à l'eau non calcaire. Cette dernière condition est indispensable.

Les espèces originaires de l'Inde, de Madagascar et des régions tropicales américaines exigent des températures élevées : de 28 °C à 35 °C le jour et de 22 °C à 25 °C la nuit en été; de 18 °C à 22 °C le jour et de 13 °C à 16 °C la nuit en hiver qui est leur période de repos. Ce sont des Orchidées dites de serre chaude.

Cattleya, Laelia, Oncidium, Odontoglossum, Cypripedium *et* Dendropium *proviennent de régions moins chaudes ou de montagnes tropicales. Ils sont cultivés dans des serres tempérées maintenues entre 25 °C et 28 °C le jour, entre 16 °C et 22 °C la nuit en été; entre 12 °C et 18 °C le jour et entre 10 °C et 2 °C la nuit en hiver.*

Enfin certains Masdevallia, Cymbidium, Oncidium *sont dits de serre froide. Ils réclament de 20 °C à 24 °C le jour et de 14 °C à 16 °C la nuit en été; de 8 °C à 12 °C le jour et de 6 °C à 9 °C la nuit en hiver.*

Les cultivateurs d'Orchidées utilisent donc trois sortes de serres ou une seule, divisée en trois parties de températures différentes.

Les difficultés de la culture des Orchidées ont retenu l'attention des chercheurs français qui, depuis quinze ans, se sont attachés à les résoudre.

Dès 1964, le biologiste G. Morel mettait au point une méthode permettant d'obtenir de nombreuses plantules d'Orchidées à partir d'un seul groupement de cellules jeunes indifférenciées. Cette technique n'était toutefois pas applicable au genre Cymbidium.

*En collaboration avec G. Morel, Pierre Chouard, directeur du phytotron de Gif-sur-Yvette, se penchait à son tour, avec son équipe, sur les problèmes de croissance et de floraison des Orchidées : en 1968, il faisait fleurir de jeunes plants d'*Odontonia *au bout de dix-huit mois de culture. Aujourd'hui, il a réduit des deux tiers le temps nécessaire à l'obtention d'une plante adulte, et le problème particulier des* Cymbidium *a été résolu. Ces résultats ont été obtenus grâce à l'outil exceptionnel qu'est le phytotron : il s'agit d'un ensemble de serres et de salles entièrement conditionnées où l'on peut faire varier simultanément ou isolément les différents facteurs qui agissent sur la croissance des plantes : température, éclairement, nutrition. Grâce au phytotron, les scientifiques sont parvenus à retarder ou à accélérer à volonté la floraison des Orchidées. Il reste maintenant à adapter ces méthodes à la culture industrielle ou privée.*

Culture d'amateurs

Les amateurs peuvent cultiver les Orchidées en appartement ou en pleine terre. Il s'agit évidemment dans les deux cas d'espèces sans exigences thermiques particulières. Les Bletilla hyacinthia, *originaires d'Extrême-Orient, sont parfaitement rustiques dans une grande partie de la France. Ces fleurs, de petite taille, croissent à mi-ombre. En revanche,* Polystachia pubescens *d'Afrique du Sud, à fleurs jaunes striées de rouge, ne pousse bien que dans le Midi. Certaines Orchidées épiphytes,* Oncidium ornithorrhyucum *ou* Odontoglossum grande, *de même que toutes les Orchidées terrestres du genre* Pephiopedilum, *vivent très bien en appartement. Un seul grand écueil à signaler à ceux que l'expérience tente : l'excessive sécheresse de l'air provoquée par le chauffage moderne. Pour obtenir des fleurs de rêve, ils devront prodiguer arrosages et bassinages fréquents avec une eau non calcaire à ces belles exotiques.*

Bavestrelli, Bevilacqua, Prato

***Laeliocattleya*, très recherché par les amateurs, est cultivé intensivement en serre.**

LES ROSES

Reine des fleurs, inspiratrice des poètes, des sculpteurs et des peintres, la rose a une lointaine et riche histoire. Le musée de la Rose, à l'Hay-les-Roses, près de Paris, possède même des fossiles récupérés dans les sédiments de l'ère tertiaire. Aucune fleur ne semble autant symboliser l'art floral. Aimée de tous, son parfum, ses couleurs, ses formes sont un enchantement pour les sens.

Un peu d'histoire

La culture de la rose est très ancienne. Probablement originaire d'Asie, elle fut très appréciée des peuples méditerranéens. Chez les Romains, les roses étaient cultivées l'hiver dans des serres spéciales. On en extrayait le parfum et l'huile de rose, qui servaient à parfumer les banquets et les convives.

Les Arabes, ensuite, introduisirent en Europe la rose de Damas, qui fut surtout cultivée aux environs de Provins. Elle a gardé depuis son nom de « rose de Provins ». C'est à la fin du XVIIIe siècle que furent importées d'Orient de nombreuses espèces nouvelles, dont Rosa indica *et* Rosa burboniona, *qui, perfectionnées au XIXe siècle, donnèrent naissance aux roses-thé et aux hybrides refleurissants. Le célèbre peintre Redouté a illustré les plus belles d'entre elles.*

En France, la culture de la rose pour le commerce des fleurs coupées ne remonte guère à plus d'un siècle.

Les rosiers et leurs variétés

La rose appartient à la famille des Rosacées représentée par le genre Rosa. *Les rosiers comprennent une extrême diversité de races et de variétés (quinze mille environ). Cultivés sous diverses formes, ils se prêtent à des emplois multiples et jouent un rôle capital dans la décoration des jardins et des parcs. Pour la simplicité du classement, les roses sont réparties en deux catégories : les roses anciennes et les roses modernes. Les premières comprennent les espèces originelles et leurs hybrides dont le nom est précédé du mot* Rosa.

La plus célèbre rose ancienne est la rose de Chine (Rosa chinensis) *d'où dérivent des variétés à floraison continue. La rose à cent feuilles* (Rosa centifolia) *a donné naissance à des plantes très odorantes avec lesquelles on prépare l'eau de rose. A cette espèce appartient la rose-chou. La rose de Damas* (Rosa damascena) *et la rose de Provins* (Rosa gallica) *sont surtout fréquentes dans le centre et le sud-ouest de la France. Elles ont formé, par croisements avec d'autres espèces, de nombreuses variétés actuelles.*

Les roses modernes, provenant d'hybridations, sont divisées en deux groupes :

1° Les roses-thé hybrides ou hybrides de thé, à grandes fleurs décoratives, apparues à la fin du siècle dernier.

2° Les roses floribunda, *dont les fameux* polyanthas, *faciles à cultiver.*

En France, les rosiers se présentent sous les aspects suivants :

— Les rosiers-buissons dont les branches se ramifient dès le niveau du sol ; leurs roses sont bien formées, telle la célèbre « Madame Meilland », jaune et rose. De nombreuses nouveautés produisent des roses analogues mais moins grosses, groupées par trois ou cinq sur des pédoncules ramifiés dont les touffes décorent agréablement les parterres.

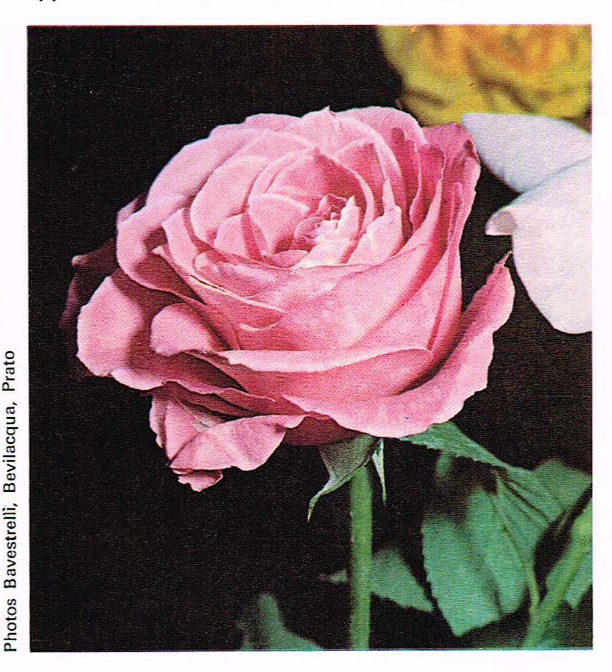
— Les rosiers grimpants et sarmenteux, à grosses fleurs, également ramifiées dès le sol. Ils forment des pergolas, des portiques, des treillages. Certains rosiers qui peuvent refleurir à la fin de l'été (appelés « remontants »), ou en automne, conviennent particulièrement à la décoration des murs et des façades. C'est le cas de « Madame Édouard Herriot », grosse fleur rose corail.

— Les rosiers-pleureurs, obtenus par greffage de rosiers grimpants sur des tiges d'églantiers. Ces espèces peuvent être dispersées sur des pelouses.

La baccara, rose foncé ou carmin, une des variétés les plus spectaculaires sur tige.



Une nouvelle rose, la viola, dont la simplicité apparente résulte de savants croisements.



Photos Bavestrelli, Bevilacqua, Prato

— *Sur tiges, ce sont les variétés les plus spectaculaires, spécialement destinées à la vente sous forme de fleurs coupées. La baccara, rose foncé ou carmin, est la plus réussie. Il faut également citer la super star, vermillon clair. Les croisements sont parfois très complexes et donnent des résultats surprenants : on obtient des fleurs aux couleurs magnifiques allant du pourpre au jaune d'or, du blanc au violet et même du rose vif au bleu. Mais les rosiéristes rêvent toujours de la fameuse rose noire.*

— *Les rosiers miniatures, très petits buissons à fleurs en forme de rosette, tel le colibri.*

La roseraie de Bagatelle offre un exemple harmonieux de ces variétés où le talent des paysagistes et des jardiniers a heureusement marié les rosiers de toutes sortes.

La culture des rosiers

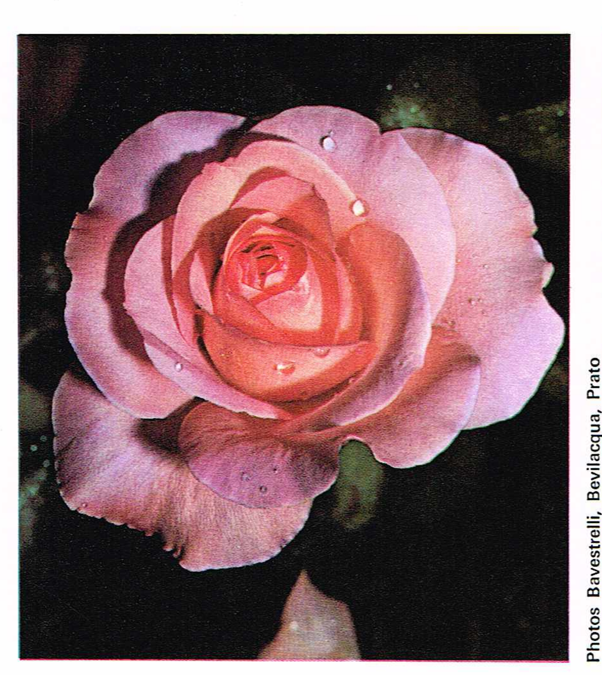
Peu exigeants sur la nature du sol, les rosiers préfèrent cependant les terres argilo-siliceuses, riches, profondes et fraîches où ils deviennent vigoureux et florifères. Il faut leur éviter les terrains trop calcaires, glaiseux ou imperméables, sablonneux et secs. Ils se plaisent dans les lieux aérés et ensoleillés, sauf les rosiers grimpants qui affectionnent l'abri des murs.

Les rosiers peuvent être plantés, à ciel ouvert, d'octobre à avril. La préparation du sol est essentielle et s'effectue au moins trois semaines avant la plantation : on creuse un large trou carré de 30 à 40 cm sur 60 cm de profondeur. Après qu'on l'a labouré et rempli d'engrais (animal ou végétal), on y étend les racines d'un pied ôté de la pépinière, puis on les recouvre de terre mélangée à de la tourbe. La distance entre deux pieds doit être de 45 à 60 cm pour les rosiers buissonnants, de 2 m au moins pour les espèces grimpantes et environ de 1 m pour les autres. Avant la floraison, le rosier a besoin d'engrais organiques (environ quatre litres par rosier et par semaine). Puis, juste avant la floraison, on arrête la fertilisation, pour effectuer des pulvérisations à base de DDT contre les parasites animaux (cétoine, pucerons).

Les plus graves maladies des rosiers sont dues à des Champignons microscopiques : la moisissure blanche (oïdium), qui apparaît après les brusques écarts de température; les taches noires de la rose s'observent sur les feuilles inférieures qui noircissent et meurent les unes après les autres; la rouille, maladie mortelle du rosier, qui se révèle par la présence sur la face inférieure des feuilles d'une poussière rougeâtre.

Au printemps, on supprime les « gourmands » (drageons ou rejets), qui, en se développant, risqueraient d'entraîner le dépérissement du rosier.

Une rose moderne, la rose romantique, une des plus séduisantes réussites des rosiéristes.



Variétés à grosses fleurs pour parterres

Anne Letts	*gamme des rose pâle tendre*
Grace de Monaco	
Ballet	*gamme des rose carminé*
Christian Dior	*gamme des rouge carmin au rouge cramoisi*
Chrysler impérial	*gamme des rouge cramoisi, foncé, velouté*
Diamond Jubilee	*gamme des jaune abricoté, chamoisé orangé*
Gail Borden	*bicolores, rouge et jaune*
My choice	*bicolores, rouge et argent*
Madame Meilland	*gamme des crème au jaune*

Grimpants-remontants

Conrad F. Meyer	*(rose argenté)*
Danse du feu	*(rouge écarlate)*
Gloire de Dijon	*(jaune chamois)*
Leverkusen	*(jaune d'or clair)*

Variétés remontantes pour haies

Amna	*(écarlate, orangé sombre)*
Enterprise	*(rose foncé, ourlé de rose)*
Orange triumph	*(rouge teinté d'orange)*
Yvonne Rabier	*(blanc pur légèrement teinté de jaune soufre à la base)*

La multiplication des roses se fait par reproduction sexuée ou asexuée. Les jardiniers pratiquent fréquemment la greffe : le greffon, future variété de rose cultivée, est inséré par une entaille en « T » sur un porte-greffon, souche sélectionnée de rosier sauvage. Une autre forme de multiplication, très facile à réaliser, est le marcottage, qui se fait en été.

Cultivées en serre, les roses se récoltent en toute saison.

Aucun arbuste ornemental ne possède des qualités aussi précieuses que celles du rosier : tronc rustique et robuste, vie durable, ramifications aux aspects variés, fleurs parfumées aux couleurs et aux formes d'une infinie variété. Docile, la rose se soumet aux modifications que lui imposent les chercheurs et en sort embellie.

La rose-thé hybride, aux pétales délicatement saumonés, apparue à la fin du siècle dernier.



Photos Bavestrelli, Bevilacqua, Prato

LES DAHLIAS



M. Bavestrelli, C. Bevilacqua, S. Prato

▲ Thor, un très beau dahlia qui se prête merveilleusement à l'art des bouquets. ▼ Le capitule étoilé et velouté de Symphonia, une des plus belles variétés de l'espèce Coccinea.



M. Bavestrelli, C. Bevilacqua, S. Prato

Très appréciés pour les décorations estivales et automnales, les dahlias, grâce à leur croissance rapide et à leur floraison abondante, permettent l'ornement des jardins et la production de fleurs coupées. En fleurs depuis juillet-août, ils connaissent leur apothéose en septembre.

Plante de la famille des Composées, à racines charnues, les fleurs, ou inflorescences terminales en capitules, sont très variables dans leurs formes, leurs dimensions et leurs couleurs qui vont du crème au carmin vif, du jaune au rouge feu. Les feuilles dentées et composées, échelonnées le long de la tige, sont également très décoratives.

Races et variétés

Les dahlias proviennent tous des espèces du genre Dahlia *— neuf au total — originaire du Mexique où il vit à l'état sauvage sur les hauts plateaux. Introduit au jardin botanique de Madrid en 1789, il reçut son nom du botaniste suédois Dahl, élève de Linné, et se répandit sous cette appellation à travers tous les pays d'Europe.*

Plante ornementale, cultivée pour la beauté de ses fleurs, le dahlia faillit faire une carrière de plante alimentaire : en 1802, l'ambassade de France en Espagne envoie au Muséum des spécimens de tubercules de dahlias afin de déterminer leur valeur nutritive. De nos jours, celle-ci est reconnue sans être pour autant exploitée systématiquement : Dahlia pinnata *fournit de l'inuline, substance de base permettant d'obtenir le fructose.*

Dahlia variabilis *a été le premier introduit dans les jardins. Il possède de gros capitules doubles à l'extrémité des rameaux. Ces capitules peuvent dépasser chez certaines variétés un diamètre de plusieurs centimètres : le disque central jaune, constitué de petites fleurs en tubes, est entouré d'une couronne de larges fleurs en languettes, ovales, d'une belle couleur rouge à l'origine. On a depuis obtenu par hybridation des couleurs variées. La plante herbacée (comme toutes les autres espèces) possède des racines tuberculeuses, oblongues, prolongées par un filament, une tige dressée peu lignifiée à la base, des feuilles de cinq à sept folioles, larges, vert foncé sur la face supérieure, vert plus clair sur la face inférieure.*

Dahlia pinnata *a été la souche des dahlias lilliputiens qui n'atteignent pas 1 m, à fleurs moyennes ou petites, utilisés pour les massifs bas et parterres.*

Les dahlias à colliers, à grandes fleurs simples ornées autour du cœur d'une collerette de petites ligules d'un coloris différent de celui des ligules principales, dérivent de Dahlia crocata, *plus rarement cultivé que l'espèce précédente : les plus connus sont les dahlias hollandais vigoureux et très décoratifs.*

Avoir dans son jardin des dahlias en novembre et même en décembre est possible grâce à une autre variété, Dahlia imperialis. *Il possède des capitules pendants et légèrement campanulés, réunis en grappes qui donnent à la plante un aspect curieux. Le disque central, grand et jaune, est entouré de fleurs en languettes pliées et ondulées de couleur blanc rosé avec des nuances pourprées.*

Importé du Mexique en 1872, Dahlia juarezi, *appelé communément dahlia cactus, et dans certaines régions étoile du diable, à fleurs grandes ou moyennes, élégantes, composées de ligules enroulées en forme de cigarettes plus ou moins pointues, de couleur rouge écarlate ou rose corail, a connu immédiatement un grand succès. Sa beauté se prête merveilleusement à l'art des bouquets. On cultive aujourd'hui une infinité de dahlias hybrides ; certains ont des couleurs franches : rouge, rose, violet ou brun-rouge, jaune même avec un aspect velouté*





M. Bavestrelli, C. Bevilacqua, S. Prato

Les caprices de l'hybridation : les touches de blanc se sont dispersées aux extrémités des ligules au lieu d'entourer le disque central.

Duindigt, variété du célèbre *Dahlia juarezi*, appelé communément dahlia cactus.

ou soyeux ; d'autres variétés offrent plusieurs nuances d'une même couleur. Certaines formes de Dahlia juarezi *en languettes droites et pointues sont parmi les formes horticoles les plus anciennes et les plus répandues. Les dahlias pompons à petits capitules ronds et globuleux aux couleurs surprenantes en sont les formes hybrides.*

La culture des dahlias

Les dahlias s'accommodent de tout bon sol de jardin bien travaillé et bien fumé, à exposition ensoleillée.

Les racines tuberculeuses sont des organes de réserves, et, comme elles sont fasciculées, les dahlias se prêtent bien à la multiplication par divisions des souches. La souche est l'ensemble des racines récoltées au pied d'une plante à l'automne précédent. On divise la souche en trois fragments et on ne met en terre que des tubercules ayant une portion de tige : celle-ci doit posséder à la base un bourgeon, unique siège du départ de la végétation au printemps suivant. La meilleure époque de division se situe dans la première quinzaine d'avril et la mise en place définitive début mai. La floraison terminée, et après les premières gelées, on arrache les souches par temps sec, et elles passent l'hiver dans des locaux aérés et protégés du froid.

Bouturage

Une autre forme de reproduction des variétés par voie végétative est le bouturage. La plantation en boutures donne des résultats parfaits quant à la beauté des fleurs obtenues, en particulier pendant l'arrière-saison. On prélève ces boutures quand les bourgeons ont de 3 à 5 cm de longueur, on les place dans des pots bien abrités du vent ; on peut les porter en plein air après trois ou quatre semaines ; elles sont mises à demeure en mai.

La floraison obtenue par bouturage ne fléchit jamais, mais commence trois semaines ou un mois plus tard que celle qui est obtenue par tubercules. Les deux systèmes réunis permettent d'assurer une floraison continue.

Semis

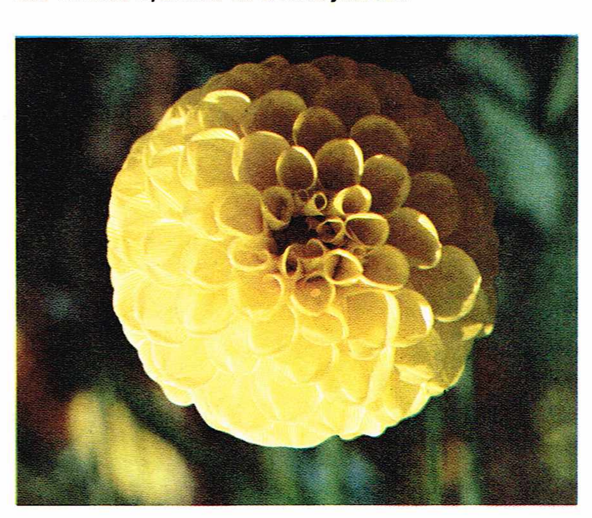
Les dahlias se reproduisent aussi par semis de mars à mai dans des pépinières couvertes en utilisant de la terre légère ; la première transplantation doit être effectuée quand les plantules possèdent de quatre à six folioles ; on les place alors à la distance de 1 m l'une de l'autre. La floraison se fait dès la première année, mais la forme et les couleurs définitives des variétés s'affirment seulement après deux ou trois ans. Les semis de graines sont employés pour la recherche de nouvelles variétés et ne présentent que peu d'intérêt pour l'amateur car, sans précautions spéciales et délicates, les résultats sont décevants.

Les dahlias sont généralement rustiques ; ils s'adaptent facilement à tous les sols, résistent bien en plein air pourvu que leurs racines soient enfoncées profondément. Les variétés délicates ont besoin de sol sablonneux, frais et bien fertilisé.

Facile à faire pousser s'il a de l'eau et du soleil, donnant quatre bons mois de floraison massive, il n'est guère de plante qui ait autant de présence et de valeur décorative que le dahlia. Aussi n'existe-t-il pratiquement pas de jardins en France dont il soit absent. Il offre tant de formes et de couleurs différentes qu'on peut l'associer à d'autres fleurs en des haies somptueuses, des massifs bas et des bouquets composés.

Des expositions lui sont consacrées comme celle qui est réalisée chaque année dans le parc de Sceaux : plus de huit mille plantes en font un jardin de dahlias unique au monde, et permettent à l'amateur de reconnaître, d'apprécier et de comparer l'ensemble des variétés cultivées en France.

Les dahlias pompons, à petits capitules ronds, sont des formes hybrides de *Dahlia juarezi*.



LES JACINTHES ET LES TULIPES

Parmi les bulbes florifères donnant une floraison précoce, au printemps, dans les jardins, et même en hiver, dans les serres et les appartements, ceux des jacinthes et des tulipes méritent la première place.

Ces deux groupes de plantes appartiennent à la famille des Liliacées. *Dans certains pays, notamment en Hollande, leur culture a donné naissance à une industrie florale hautement spécialisée. La tulipe est devenue le symbole des plaines néerlandaises où elle est entourée des soins patients et amoureux d'un peuple de paysans-jardiniers.*

LA JACINTHE

Comme l'indique son nom, Hyacinthus orientalis, *la jacinthe est originaire d'Orient et plus précisément d'Asie occidentale. L'élégance de ses fleurs, son parfum captivant et la facilité de sa culture lui ont valu un rapide succès à travers toute l'Europe. Les horticulteurs s'y sont intéressés dès le XVIe siècle, mais c'est aux Hollandais que revient le mérite de l'avoir portée au point de perfection que nous lui connaissons.*

Les différentes espèces

Classées tantôt en fonction de leur morphologie en groupe à fleurs simples et groupe à fleurs doubles, ou en fonction de leur couleur, les jacinthes horticoles peuvent se répartir plus simplement en deux espèces : les jacinthes de Hollande et les jacinthes françaises, ou de Paris. Les premières sont caractérisées par une grappe florale épaisse et pesante. Les secondes, plus rustiques, se reconnaissent à leurs panicules florales plus lâches et plus espacées.

Le très large développement de la culture de la jacinthe a permis la réalisation d'intéressantes hybridations. A partir des teintes fondamentales, les horticulteurs ont créé de multiples colorations intermédiaires. En outre, ils ont réussi à obtenir des fleurs de taille, de forme et de volume très divers.

Chacune des régions où la jacinthe a trouvé un milieu approprié à sa culture, s'est spécialisée peu à peu dans la production de variétés originales. Ainsi, il existe aujourd'hui des jacinthes romaines qui présentent de nombreuses inflorescences à chaque pied. Chacune d'entre elles est peu fournie, de trois à huit fleurs, de couleur blanche ou bleu foncé uniquement. Elles sont très souvent utilisées pour composer des parterres. On les vend aussi en pots, ou même en bouquets, mariées par exemple avec des violettes de printemps.

Les jacinthes hollandaises sont les plus belles et les plus recherchées. Actuellement, il en existe deux mille variétés environ. Parmi celles-ci, la « De Lieber » est considérée comme un modèle de perfection.

Les couleurs de la jacinthe ornementale sont : le blanc, toutes les teintes du jaune doré, toutes celles du rose au carmin, celles du violet et celles enfin du bleu à l'indigo.

La culture des jacinthes

La culture de ces fleurs, au parfum subtil et pénétrant, ne présente pas de difficultés. Comme pour toutes les plantes à bulbes, il faut procéder avec méthode.

Les bulbes sont enterrés à une profondeur de 10 à 20 cm et à des distances de 12 à 15 cm les uns des autres ; la meilleure période pour la mise en terre va de septembre à novembre pour les variétés de pleine terre et de novembre à décembre pour les plantes de serre. La terre doit être légère et modérément riche. Il faut absolument éviter tous engrais organiques, surtout frais. Après la floraison, lorsque les feuilles sont flétries, les bulbes doivent être déterrés et nettoyés ; séchés à l'ombre, ils seront conservés dans un lieu frais et sec.

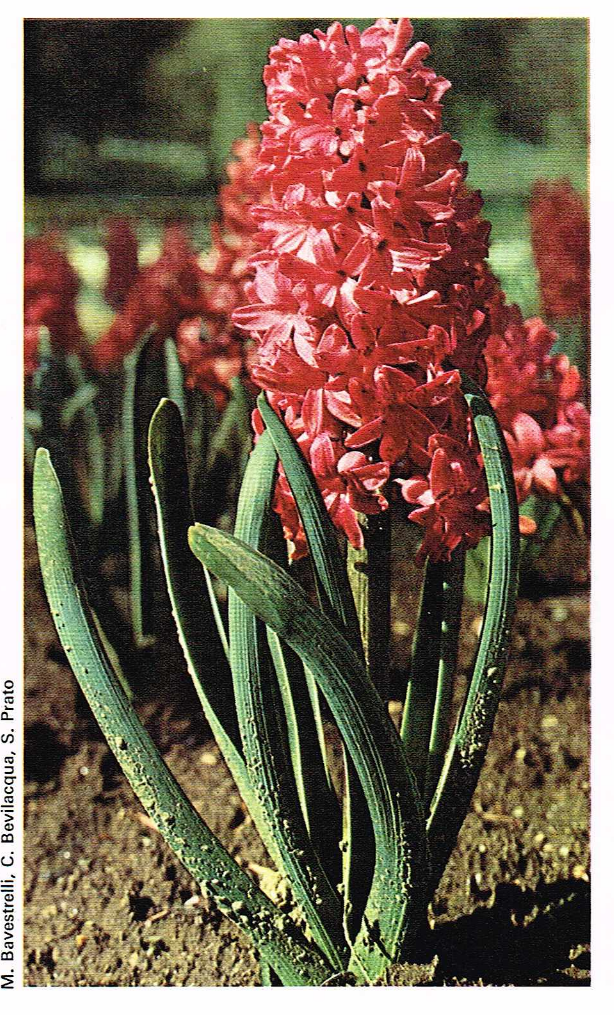
Quand on désire obtenir une floraison très précoce, il convient d'avoir recours au forçage. A cette fin, on plante les bulbes dans de petits pots (il en existe de forme spéciale pour les jacinthes), dans une terre mêlée d'un peu de terreau et d'engrais, que l'on aère fréquemment.

Les pots doivent ensuite être placés dans des trous et recouverts de 10 cm de terre. Dès que les bulbes commencent à germer, on retire les pots et on les met sous châssis ou en serre ; on peut aussi les placer dans la maison, dans un endroit bien ensoleillé.

Une autre méthode de culture consiste à remplacer la terre par de la mousse. Dans ce cas, il faut placer les bulbes dans la mousse humide ou sur l'eau, et les conserver ainsi pendant un certain temps (de cinq à sept semaines) dans l'obscurité.

La multiplication par semis n'est guère utilisée pour les jacinthes, étant donné qu'il faut attendre quatre ans avant d'obtenir des plantes fleuries. En outre, les graines, sauf quand il s'agit de plantes mères spécialement soignées, donnent des plantes à fleurs pendantes. On a donc recours à la propagation à l'aide de morceaux prélevés sur des bulbes bien développés.

L'épaisse grappe florale d'une jacinthe ornementale.



M. Bavestrelli, C. Bevilacqua, S. Prato



M. Bavestrelli, C. Bevilacqua, S. Prato

▲ Variation sur le thème de la tulipe tigrée.

LA TULIPE

C'est le botaniste suisse Conrad qui, le premier, a fait connaître cette fleur en 1559. Un certain nombre d'entre elles ornaient alors le jardin d'un magistrat d'Augsbourg ; elles étaient rouges et l'on en mangeait les oignons.

Les Hollandais ont fêté, en 1960, le quatrième centenaire de l'entrée dans leur pays du premier oignon de tulipe ; il aurait été rapporté d'Istanbul par un diplomate autrichien, envoyé extraordinaire de Frédéric Ier auprès du Grand Turc.

Espèces et variétés

Parmi les espèces les plus appréciées, on peut citer : Tulipa gesneriana, *originaire d'Asie du Sud-Ouest, d'où proviennent la plupart des tulipes communes ;* Tulipa turcica, *d'Asie Mineure, qui a donné les innombrables tulipes « perroquet » et les « monstres » ;* Tulipa suaveolens, *tulipe odorante du sud-est de l'Europe.*

La Hollande, qui consacre à cette culture 8 000 ha, produit des variétés remarquables, dont les plus belles et les plus connues sont : la tulipe Mendel, aux fleurs élégantes de forme allongée ; la tulipe Darwin, dont les tiges raides peuvent atteindre 1 m ; la tulipe lis, aux extrémités pointues en forme d'étoile ; la tulipe Rembrandt, aux fleurs striées ou marbrées, etc. Les plus belles proviennent essentiellement d'hybridations interspécifiques.

Les couleurs de ces fleurs sont si nombreuses qu'on ne peut en exclure aucune, à l'exception du bleu pur, que les spécialistes n'ont pas encore réussi à obtenir. Elles peuvent être unicolores ou tachetées, flammées ou tigrées ; leurs tépales — car il s'agit de tépales et non de pétales chez ces fleurs — ont un bord soit dentelé, soit ondulé, soit entier, et même lacinié ou effrangé.

Les tulipes sont parmi les plantes ornementales les plus prisées, tant dans les jardins que dans les maisons. Naines, elles ornent les bordures des massifs ou émaillent les pelouses de groupes aux coloris vifs et gais. Grandes, elles sont alignées contre haies et murets, ou dessinent des volutes fantasques dans les parterres des jardins publics.

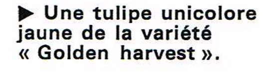
Comme il en existe de précoces et de tardives, on peut, en les cultivant en alternance, prolonger leur présence dans les parcs pendant de nombreux mois.

La culture des tulipes est très facile. Les bulbes sont enterrés, au début d'octobre, à une profondeur de 4 cm et à une distance non inférieure à 10 cm ; le sol et les traitements sont les mêmes que ceux qui sont conseillés pour les jacinthes. Il est cependant bon, après la chute des tépales floraux, de tailler le sommet des hampes, afin d'éviter le développement des fruits capsulaires. La propagation se fait aussi par des morceaux de bulbes.

La vogue de la tulipe

Bien que les tulipes nous charment fort, on aurait peine à croire aujourd'hui qu'elles ont été l'objet de véritables passions pendant la première moitié du XVIIe siècle en Europe. Elles suscitèrent un tel engouement parmi les bourgeois hollandais qu'elles furent cotées à la bourse de Haarlem... On vit de respectables commerçants engager tous leurs biens pour un oignon : spéculation ou amour des fleurs ? Quoi qu'il en soit, le gouvernement fut contraint, en 1637, de prendre des mesures draconiennes pour lutter contre cette folie.

La mode de la tulipe parvint à Paris vers 1633 ; elle remplaçait les pierreries dans les coiffures ou aux corsages des grandes dames... Cette vogue est passée, mais la tulipe nous est restée, séduisante et d'une distinction qui, lorsqu'on y songe, rappelle son ancienne et éphémère royauté.



▶ Une tulipe unicolore jaune de la variété « Golden harvest ».

▼ Un très bel hybride de la célèbre variété hollandaise « Darwin ».



M. Bavestrelli, C. Bevilacqua, S. Prato

M. Bavestrelli, C. Bevilacqua, S. Prato

LES RENONCULES ET LES ANÉMONES

M. Bavestrelli, C. Bevilacqua, S. Prato



Fleurs robustes des jardins, élégantes fleurs coupées, les renoncules et les anémones ont pris une grande place dans nos pays.

Fleurs de la famille des Renonculacées, elles nous viennent d'Asie et étaient déjà connues des Anciens qui les appréciaient sous leurs formes spontanées ou horticoles.

LES RENONCULES

Ranunculus asiaticus, *originaire d'Asie Mineure, a été introduit en Hollande par les Croisés. Sous sa forme sauvage que l'on rencontre encore actuellement dans nos régions, c'est une petite fleur à cinq pétales rouge foncé alors que, semble-t-il, la plante ancestrale était jaune. Les soins des floriculteurs en ont fait une fleur magnifique, aux innombrables pétales et aux coloris très variés où dominent les tons blancs et jaunes et des dégradés du rouge-écarlate.*

Toutes les variétés et races cultivées dérivent de cette espèce, également appelée renoncule des jardins. Parmi elles, la renoncule de Turquie possède des pétales à l'aspect de minuscules turbans, la renoncule pivoine se distingue par des pétales plus ou moins dressés donnant des fleurs en pompon très séduisantes par la perfection de leurs formes et la beauté de leurs coloris.

Objets des soins attentifs des amateurs ou parures des vitrines des fleuristes, ces brillantes renoncules sélectionnées ne doivent pas nous faire oublier des espèces plus modestes, comme la renoncule âcre ou bouton d'or, qui embellit les champs du printemps à l'automne, ainsi que la grenouillette, ou renoncule aquatique, dont les fleurs blanches égaient dès le mois de mars les mares et les étangs.

LES ANÉMONES

Les anémones nous viendraient des rivages méditerranéens. Introduites aux environs de 1525, dans les jardins des pays du Nord, elles y ont été cultivées depuis avec succès.

*Les anémones des fleuristes, intéressantes comme fleurs coupées, dérivent d'*Anemone coronaria, *originaire d'Orient. On le rencontre sous sa forme typique à fleurs bleues dans les moissons du midi de l'Europe. Sa culture a donné des variétés remarquables aux couleurs jaspées. Les feuilles ont de nombreux segments divisés; la tige porte une collerette très découpée à la moitié de sa hauteur. En mars-avril, elle s'orne de fleurs en forme de coupe largement ouverte, aux coloris nombreux et brillants, présentant toute la gamme des couleurs, excepté le jaune. La base des pétales se nuance d'un coloris plus clair; leur ensemble simule une couronne entourant les étamines qui forment au centre une houppe de couleur foncée.*

*Les anémones de jardin, utilisées comme décoration des parterres, proviennent d'*Anemone hortensis, *apporté en Europe au XVIIIe siècle, aux fleurs et feuilles polymorphes, ou d'*Anemone japonica, *belle plante vivace importée du Japon en 1844. Extrêmement florifère, cette dernière est très appréciée à la fois pour sa rusticité, pour sa nature très accommodante et pour sa floraison tardive. Elle s'épanouit à la fin août et reste en fleurs, certaines années clémentes, jusque sous le ciel brumeux de novembre. Très décorative, elle forme de grandes touffes au feuillage largement découpé d'où jaillit une multitude de gracieuses fleurs solitaires, larges de 4 à 9 cm, simples,*

L'harmonie des couleurs intenses et variées d'un bouquet d'anémones des fleuristes.

Bavestrelli - Bevilacqua - Prato

▲ **Encore un exemple du merveilleux coloris d'une anémone des fleuristes.**
▼ **Une belle variété de renoncules rouges en forme de demi-globe.**



Bavestrelli - Bevilacqua - Prato

doubles ou semi-doubles, toujours parfaites, aux teintes d'une grande fraîcheur empruntées aux tons roses ou blancs.

Toutes les anémones cultivées possèdent les caractères de ces trois espèces dont elles sont issues. Perfectionnées par l'art des floriculteurs, leurs couleurs sont devenues plus subtiles et leurs fleurs peuvent orner nos maisons depuis le début du printemps jusqu'au cœur de l'hiver.

En même temps que les anémones obtenues par sélection, on cultive aussi de nombreuses espèces pures ou presque pures. Dans les jardins de rocaille, l'Anemone nemorosa, ou anémone sylvie à fleurs doubles, et l'anémone sylvestre à fleurs blanc rosé portées par des hampes grêles, posent des taches colorées.

L'anémone pulsatille se rencontre à l'état spontané dans les bois clairs, les prés secs et les côteaux calcaires. Découpées en fines lamelles, les hampes florales sont munies vers le sommet d'une sorte de collerette à lanières et se terminent par une seule fleur couverte extérieurement d'un duvet soyeux et argenté ; la corolle est d'un violet intense sur lequel tranchent les étamines d'un beau jaune vif ; sa floraison précoce de mars à mai lui a valu le nom de « Pâques ». C'est une plante polymorphe, excellente fleur de rocaille ou de jardin alpin. Bien qu'il ait été reconnu toxique, son suc est cependant considéré comme une véritable panacée en homéopathie si on l'utilise sous forme de teinture.

La culture des renoncules et des anémones

Ces deux plantes sont cultivées de la même façon. Elles possèdent un rhizome ou tige souterraine modifiée, organe de réserve et de production annuelle de nouvelles plantes à partir de bourgeons. C'est pour cela que les floriculteurs considèrent souvent de façon inexacte que les renoncules et les anémones sont des plantes à bulbes.

C'est en octobre ou en novembre qu'on met en terre les petits rhizomes pourvus de bourgeons à 5 ou 6 cm de profondeur et à 6 ou 8 cm d'écartement. Les réserves emmagasinées pendant la période de repos végétatif sont utilisées par la nouvelle plante dont on voit rapidement apparaître les folioles dès avril. Sous le climat parisien, on préfère la plantation en février-mars, et la floraison s'étage alors de juin aux premières gelées.

Si toutes les expositions conviennent à cette culture, il faut en revanche éviter de la pratiquer sur des sols trop secs. La terre ne doit jamais être fumée à l'engrais organique trop peu de temps avant l'implantation. Jusqu'à la floraison, on arrose fréquemment et on désherbe.

Après la floraison, on déterre les rhizomes. Nettoyés et séparés, séchés à l'ombre, on les conserve en boîtes. Ils peuvent rester ainsi longtemps intacts, jusqu'à plus de deux ans. Ils se remettent en activité dès qu'ils sont replantés. Les anémones du Japon, peu exigeantes sur la nature du terrain, préfèrent cependant une terre fraîche modérément ensoleillée. On les multiplie par éclats de touffes. Leur végétation n'ayant pas d'arrêt complet, elles ne devront être déplacées que tous les trois ans.

Si on laisse les plantes aller jusqu'à la production de semence, les rhizomes sont épuisés, et leur transplantation l'année suivante donne de mauvais résultats. De plus, les semis effectués en mai ou en juin en pépinière, sur terre légère recouverte de sable, ne peuvent guère être pratiqués avec succès que par des professionnels. Ils y recourent surtout pour créer de nouvelles variétés.

Les renoncules et les anémones ont leur place dans tous les jardins. La facilité de leur culture et la précocité de leur floraison, la diversité de leurs coloris en font l'un des éléments indispensables de toute décoration printanière. Premières fleuries, elles peuvent être la dernière parure des jardins en hiver, selon que l'on retarde ou que l'on avance l'époque de leur mise en terre. Il suffit de les entourer de soins appropriés pour qu'elles s'adaptent au climat des pays nordiques aussi bien qu'à celui du midi de l'Europe.

Elles sont partout d'un effet charmant en corbeilles, plates-bandes, bordures et massifs. Fleurs coupées, elles mettent dans les appartements l'éclat velouté de leurs coloris aux époques où les autres fleurs à couper sont rares, pendant les longs hivers septentrionaux comme au début des doux printemps méditerranéens.

LES PRIMEVÈRES ET LES CYCLAMENS



M. Bavestrelli, C. Bevilacqua, S. Prato

Un groupe de primevères de jardin aux coloris variés.

Ces fleurs toutes simples introduisent sans qu'on y pense un plaisant paradoxe dans notre vie. Alors que leur nom évoque les débuts aigres-doux du printemps et les premières fleurs sauvages des campagnes, elles sont devenues depuis quelques années la parure hivernale traditionnelle des étalages des fleuristes.

Primevères et cyclamens appartiennent à la même famille, celle des Primulacées, dont le nom, Primula, *indique une floraison précoce.*

LES PRIMEVÈRES

Les primevères, providence de tous les jardins, sont d'une culture ancienne, et leurs ancêtres les hôtes humbles de nos prés, de nos bois et de nos montagnes.

La plus commune de nos primevères sauvages est le coucou odorant dont les fleurs jaunes s'épanouissent de mars à mai dans les clairières et sur les talus un peu partout en France, sauf dans la région méditerranéenne. C'est Primula officinalis, *la primevère officinale, ainsi nommée à cause de ses nombreuses vertus médicinales et alimentaires (ses parties souterraines ont des vertus expectorantes, ses fleurs sont offertes en boissons rafraîchissantes) : elle faisait autrefois partie des « simples » qui servaient à préparer potions et onguents de la médecine populaire.* Primula acaulis, *ou la primevère acaule, en est voisine ; elle est très commune dans l'ouest de la France : ses fleurs solitaires dépourvues de tiges sont posées sur une grosse touffe de feuilles rugueuses, et les coloris variés se situent toujours dans la gamme des tons pastel, rose, blanc, jaune, bleu pâle.*

En montagne, Primula auricola *pousse spontanément sur les rochers calcaires. C'est une plante vivace, rustique, à larges feuilles dentées et charnues, qui lui ont valu le nom populaire « d'oreille d'ours ». Selon l'altitude et l'exposition, les fleurs d'un beau jaune apparaissent d'avril à juin ; odorantes, elles se dégagent bien du feuillage et sont portées par une hampe florale de 10 à 15 cm.*

Cette plante a donné de très belles variétés cultivées que l'on peut disposer en touffes dans les jardins de rocaille à exposition nord ou garder en pots ; elles furent à la mode en Angleterre au début du siècle.

Les amateurs épris de simplicité peuvent se contenter de ces plantes très attachantes, mais ceux qui désirent des fleurs plus élaborées les choisiront parmi les nombreuses variétés d'hybrides créées par les floriculteurs. Les plus connues d'entre elles sont les primevères des jardins, Primula hortensis, *plantes issues d'hybridation entre la primevère officinale et la primevère auricole. Elles portent de mars à mai des hampes florales de 20 à 30 cm, terminées par une ombelle de grosses fleurs légèrement odorantes et souvent teintées de coloris bien fondus. La couleur bleu indigo, relativement nouvelle, n'existait pas dans les espèces types ; cette dernière vire au violacé rougeâtre lorsqu'on multiplie les plantes par semis. Les horticulteurs se sont efforcés de sélectionner des variétés géantes à hampes robustes, portant des ombelles de fleurs énormes appréciées en bouquets.*

Autres variétés d'hybrides, les primevères du Japon sont particulièrement indiquées pour la plantation au bord des eaux, en rocaille semi-ombragée ou sous le couvert d'arbres à feuillage léger. Les jardiniers anglais aiment tout particulièrement la primevère orchidée aux fleurs groupées en bel épi compact, allongé, bleu lavande ou violet intense. C'est la primevère des amateurs difficiles, attirés par sa forme originale et gracieuse et sa tendance à se naturaliser : elle fleurit en juin.

Ces différentes primevères ont des caractères botaniques et culturaux peu tranchés, et l'on trouve des termes de passage entre hybrides et espèces spontanées.

Il faut enfin réserver une place particulière aux espèces exotiques, originaires pour la plupart des zones tempérées ou froides de l'Asie nord-occidentale, comme Primula sinensis, *importé de Chine en 1879, ou* Primula obconica, *des mêmes régions, mais à la floraison moins abondante. Ces primevères, que l'on cultive en pots, sont peu différentes des nôtres, elles ont des feuilles pourvues d'un pétiole et des fleurs en ombelle aux coloris variés, du blanc au violacé en passant par toute la gamme des roses et des rouges. A partir de* Primula sinensis,



M. Bavestrelli, C. Bevilacqua, S. Prato

Les hybridations ont donné naissance à des fleurs aux teintes délicates.

les floriculteurs ont créé des races horticoles à grandes feuilles, aux limbes diversement lobés, effrangés, crêpelés et à fleurs géantes aux pétales échancrés mais à floraison plus tardive.

Primula malacoides, *originaire lui aussi du Japon, est une espèce exotique aux hampes grêles couvertes d'une multitude de petites fleurs gracieuses et légères du blanc pur au rose liliacé.*

Toutes ces primevères se plaisent dans les lieux humides et ombragés et participent à la décoration des parterres et plates-bandes exposés au nord.

LES CYCLAMENS

Pour beaucoup, le mot cyclamen évoque les luxueuses plantes en pots que l'on voit apparaître dès le mois de septembre dans la vitrine des fleuristes.

La plus aristocratique de nos fleurs d'appartement porte le nom du pays dont elle semble être originaire : le cyclamen de Perse déploie ses grandes ailes de papillon rose, blanc saumon ou mauve. Les fleurs solitaires, ovales, en forme de cœur, sont originales et élégantes avec leurs pétales brusquement redressés; la culture et la sélection ont permis d'en créer différentes races.

Pourtant, les cyclamens sauvages sont de charmantes petites plantes indigènes, sans caprice, qui croissent librement par larges groupes et font de merveilleux sous-bois. Ils résistent bien à l'hiver et on les désigne sous le nom de cyclamens d'Europe.

Au printemps, ils sont les premiers à s'épanouir dans les forêts clairsemées de hêtres, où ils vivent à l'état naturel; ils ne poussent d'ailleurs pas au-dessus de la limite supérieure de ces arbres : leurs fleurs hautes de 15 à 20 cm, penchées, odorantes, rose plus ou moins foncé, se dégagent bien des feuilles rondes, épaisses et rouges au-dessous.

Le cyclamen de Naples, spontané en Italie, fleurit en fin d'été, rose, lilas, rouge ou blanc, et ses feuilles marbrées de taches claires ressemblent à celles du lierre. C'est une plante de rocaille côté ombre.

Les racines tuberculeuses de ces deux espèces sont violemment toxiques.

La culture et l'entretien des primevères et des cyclamens

Pour entretenir et conserver ces plantes d'appartement le plus longtemps possible, des soins précis sont à recommander.

Les primevères exigent seulement d'être bien arrosées et fumées tous les huit à dix jours : on ralentira ce rythme pendant quatre ou cinq mois, la floraison terminée. Pour les faire refleurir après cette période de repos, on les transvasera dans des pots garnis de terreau et de sable mélangés.

Les cyclamens demandent davantage : il leur faut un terreau de qualité et des engrais solubles peu concentrés. L'arrosage à l'eau pure leur est recommandé et se fait à la partie supérieure du bulbe en évitant de mouiller la base des feuilles facilement atteintes par la pourriture. L'eau fournie par imbibition reste la meilleure solution. On doit éliminer les fleurs fanées et se rappeler que les cyclamens ne sont pas des hôtes de serre chaude : 12° conviennent parfaitement aux plantes (le jaunissement des feuilles indique que la température est trop élevée); en outre, le cyclamen est une plante qui « a besoin d'air » et aime la lumière. Pour garder les cyclamens, il est nécessaire, la floraison terminée, de placer les plants en pots dans des lieux frais et secs en interrompant tout arrosage. On peut ensuite les conserver en plein air, à l'ombre, sans enterrer la partie supérieure du bulbe. Rentrés en septembre dans une pièce bien éclairée et tiède, la floraison se produira pendant l'hiver.

Les plantes obtenues à partir de bulbes sont moins vigoureuses que celles qui proviennent de semis, et les floriculteurs préfèrent semer chaque année primevères et cyclamens en utilisant les graines issues des plus belles fleurs des années précédentes.

Le semis de primevères se fait en juillet ou en fin d'hiver en châssis ou pépinières. Les graines fines doivent être à peine recouvertes. La levée se produit en trois semaines : une belle rosette de trois à quatre petites feuilles peut être mise en pot dans un mélange de terreau et de terre de jardin.

Les semis de cyclamens effectués à partir d'août-septembre permettent d'obtenir des spécimens l'hiver de l'année suivante. Le trempage des graines pendant vingt-quatre heures dans de l'eau tiède accélère leur germination. On repique après dix à douze semaines les semis quand la première feuille est bien développée, dans du terreau de forêt mélangé à du sable fin et à de la tourbe. Mis en pots pour la première fois, en mars-avril de l'année suivante, ils possèdent alors cinq à huit feuilles, et la plante sera, un an plus tard, une belle touffe compacte de feuilles protégeant des pédoncules floraux pleins de promesses.

Primevères et cyclamens sont des plantes parfaites pour la culture en pots et la décoration hivernale des serres et des appartements. Ils y apportent la grâce de leurs fleurs, la richesse de leur feuillage et la gaieté de leurs coloris.

Les élégantes corolles d'un cyclamen européen.



M. Bavestrelli, C. Bevilacqua, S. Prato

LES PENSÉES ET LES PAVOTS



Plantes annuelles à l'état spontané, pensées et pavots sont des fleurs très décoratives, faciles à cultiver, rustiques et à floraison massive. Horticoles, elles deviennent vivaces et ornent bordures et massifs.

Les pensées doivent leur nom à la symbolique des amoureux. Elles appartiennent au genre Viola, *groupant violettes et pensées, dont la couleur d'origine était le violet. Il existe pourtant en montagne des violettes sauvages jaunes, comme* Viola biflora, *et d'autres, plus rares, comme* Viola cenisia, *rouge lie-de-vin ou bleu céruléen.* Viola calcarata, *des pâturages alpins, parfume l'air de sa bonne odeur de miel et de vanille, et ses fleurs plus grandes que celles des violettes se situent dans les tons pastel.*

LES PENSÉES

Les pensées existent uniquement sous forme cultivée; elles ont pour origine la violette tricolore — Viola tricolor *— commune dans les champs et dont le nom spécifique indique le mélange de jaune, de blanc et de violet. Les floriculteurs ont réussi à varier à l'infini ses couleurs, et il existe désormais des variétés nuancées de rouge foncé et d'orangé. Elles ont été cultivées en Europe dès 1542, mais les variétés à fleurs jaunes dérivent de* Viola altaica, *originaire d'Asie Mineure et du Caucase, connu en Europe depuis 1805, ou de* Viola lutea, *d'Europe boréale, connu dès 1587.*

La floriculture s'est appliquée à diversifier les races, à multiplier les couleurs à partir de Viola tricolor, *et à en faire des plantes vivaces. On a ainsi obtenu* Viola hybrida *et* Viola hortensis, *cultivés comme bisannuels, objets d'importantes améliorations caractérisées par la dimension plus ou moins grande de la fleur, la tonalité des mélanges, la variété des coloris et la précocité de la floraison.*

Les pensées à floraison hâtive commencent à fleurir à la sortie de l'hiver : ce sont les pensées hiémales; leurs fleurs sont de proportion parfaite et leurs coloris très purs. Dans les tons d'un bleu très soutenu, presque noir et velouté, on trouve « la Mars » aux taches noires centrales; dans la gamme des jaunes, le « soleil d'hiver », dont chaque fleur porte des macules noires.

Les pensées à floraison normale et de très longue durée commencent à fleurir en avril et atteignent leur plénitude en mai : ce sont les géantes rêve et les fameuses géantes de Suisse, les premières plus précoces que les secondes. Elles ont des fleurs amples, aux coloris nets sans macule : ce sont des fleurs parfaites pour les massifs.

Dans la gamme infinie des teintes mixtes, nous trouvons les pensées marron ou cuivrées à rayons jaunes, résultat probable d'hybridations. Elles permettent de créer dans les jardins de véritables mosaïques de floraison pendant tout le printemps.

Les pensées se reproduisent par semis : on sème les graines autour du 14 juillet et jusqu'au 15 août; il est indispensable de les protéger du grand soleil. On les recouvre légèrement et on les maintient sous châssis jusqu'à ce que les jeunes plants soient bien sortis. Quand ceux-ci ont trois ou quatre feuilles, on les repique en pépinière. La mise en place se fait en automne dans les terres légères, au printemps lorsque les plantes ont une fleur ouverte, dans les terres lourdes et les régions à hiver rigoureux; la distance entre chaque plant doit être de 20 à 40 cm. On peut aussi propager par boutures les variétés les plus recherchées. La pensée préfère la terre de forêt mélangée à du sable fin et a besoin d'eau.

Les pensées, quelle que soit leur race, peuvent être utilisées seules. Il suffit de choisir deux variétés de couleur opposée pour constituer de beaux parterres fleuris, l'une

Une magnifique touffe de pensées "Roggli Jätte"

M. Bavestrelli, C. Bevilacqua, S. Prato



▲ **Un pavot d'Islande *(Papaver nudicaule)***

▼ **Gros plan sur la capsule caractéristique du coquelicot commun *(Papaver Rhoeas)***



M. Bavestrelli, C. Bevilacqua, S. Prato

servant de fond et l'autre de bordure ; mais elles s'accordent aussi très bien avec d'autres fleurs précoces comme les myosotis, les tulipes et les narcisses.

LES PAVOTS

Les pavots, annuels, bisannuels ou vivaces, sont originaires des steppes ensoleillées et venteuses d'Asie. Ils ont une très longue histoire puisque leur nom botanique Papaver *est tiré du celte « papa » qui signifie bouillie. Nos lointains ancêtres avaient en effet coutume de mêler les graines de cette plante ou son suc à la bouillie des enfants pour les faire dormir...*

La capsule de Papaver somniferum, *variété* album, *a de nos jours une utilisation moins inoffensive : elle fournit l'opium dont on sait les dangers pour les fumeurs mais aussi les vertus pour la pharmacopée. Ce ne sont pas les champs maléfiques de pavots blancs du Proche-Orient qui retiendront notre attention mais, plus modestement, les pavots que l'on cultive dans nos jardins comme plantes ornementales.*

Il en existe plusieurs variétés : le modeste pavot des champs, Papaver rhoeas *ou coquelicot, est le plus banal représentant du genre à fleurs annuelles qui se multiplie par graines. Il a produit en culture une race décorative à larges fleurs simples ou doubles, le « pavot à fleurs de renoncules » aux couleurs variées, y compris le bleu ardoise.*

On connaît les belles grosses fleurs doubles du pavot des jardins, Papaver somniferum. *C'est une plante de 1 m à 1,20 m de hauteur, aux fleurs globuleuses dont les coloris varient du blanc au violet-noir. Dans ce dernier cas, elle appartient à la variété* nigrum, *et l'on extrait de ses graines l'huile d'œillette. Les variétés bien fixées du pavot des jardins se reproduisent par semis. Certaines ont des pétales frangés, frisés, qui ressemblent à des plumes. Ces pavots somnifères s'utilisent en plates-bandes et en corbeilles ; cependant les fleurs sont de très courte durée, et le repiquage des plants reste donc difficile. Pour pallier ce dernier inconvénient, on sème les pavots annuels en place, sur les lieux mêmes de leur effet décoratif ; le semis se fait au printemps en terrain léger, perméable, même pauvre mais à exposition ensoleillée. Ces deux espèces peuvent aussi être cultivées en bisannuelles ; les semis se font en septembre, toujours en place. Les plants passent un hiver en plein air et fleurissent quatre à cinq semaines plus tôt que ceux que l'on a semés au printemps.*

Le pavot d'Islande, Papaver nudicaule, *originaire de l'Himalaya et de l'Asie arctique, est une plante vivace aux feuilles en touffes dressées, divisées en segments étroits d'un vert glauque, aux fleurs jaune-orangé avec des pétales ondulés ou chiffonnés sur les bords. Ce pavot qui fleurit de mai à juillet fait merveille dans les rocailles, et ses fleurs tiennent fort bien dans des vases. Assez exigeant, il recherche les terrains légers, une situation mi-ombragée, à l'abri des vents violents, et redoute l'excès d'humidité. Bien qu'il soit vivace, il est préférable de le semer tous les ans : directement en place en avril, fin juillet en pépinière. On lui fournira un apport substantiel sous forme d'arrosage à l'engrais liquide une fois tous les quinze jours.*

Le plus vivace de tous est le pavot d'Orient hybride, Papaver orientale hybridum, *connu dans nos régions depuis 1714 et originaire d'Asie Mineure. C'est une plante à tiges poilues de 1 m de hauteur se terminant chacune par une seule fleur. Les horticulteurs ont isolé des variétés aux couleurs diverses : rose, saumon, orangé, rouge, dont la fixité est assurée par le mode de multiplication par éclats ; après la floraison, ou en septembre, des racines charnues grosses comme un crayon sont débitées en tronçons de 3 à 4 cm de longueur et le côté inférieur de la bouture coupé en biseau. Ces tronçons de racines sont repiqués en pots remplis de terre de bruyère fine ou d'un mélange de tourbe et de sable et espacés de 3 à 4 cm. Après bassinage, les pots sont placés en serre sous châssis froid ou sous cloche. On peut aussi semer en septembre le pavot d'Orient, le transplanter en automne une première fois puis le mettre à demeure en mars-avril en écartant les plants de 60 à 80 cm, et il fleurit de mai à juillet.*

Annuels ou vivaces, les pavots donnent de mai à juillet des fleurs d'une grande beauté aux pétales soyeux et aux coloris somptueux.

LES LIS ET LES NARCISSES

Les narcisses et les lis sont des Monocotylédones florales; ils comprennent les uns et les autres un grand nombre de belles espèces ornementales, herbacées et bulbeuses, mais n'appartenant pas à la même famille botanique. Les narcisses (genre Narcissus*) sont en effet des Amaryllidacées, alors que les lis (genre* Lilium*) sont des Liliacées. Nous les avons associés, cependant, pour la beauté et le parfum de leurs fleurs.*

LES LIS

Les lis doivent à leur port majestueux, à la beauté de leurs fleurs, à leur parfum suave et à la richesse de leurs coloris d'être universellement appréciés. Ce sont des plantes à bulbes écailleux ou à rhizomes, à tige droite, à feuilles lancéolées, à grandes fleurs terminales solitaires ou réunies en groupes. On en connaît une cinquantaine d'espèces répandues dans les pays tempérés de l'hémisphère boréal.

Les lis ont été employés comme fleur ornementale et symbolique depuis des temps très anciens; motif décoratif fréquent dans l'art indien et l'art antique, symbole de pureté, son introduction dans les armoiries du roi de France lui a valu une place éminente dans l'histoire du blason.

Le lis blanc, ou Lilium candidum, *est connu et cultivé depuis la plus haute antiquité dans les régions méditerranéennes. On pense que ce sont les Croisés qui l'ont introduit chez nous aux environs de 1365.*

Il fleurit abondamment et son odeur caractéristique embaume les jardins depuis le printemps jusqu'au milieu de l'été.

Le lis à longue fleur (Lilium longiflorum), *originaire de Chine et du Japon, n'est pas rustique. Connu dans nos jardins depuis 1819, il donne des fleurs pédonculées réunies en groupes de trois à cinq, longues de 15 à 20 cm chacune, en forme de trompettes, blanc ivoire, parfumées; il est planté en pots profonds et forcé en serre.*

Le lis royal (Lilium regale) *porte sur une longue tige élégante des fleurs blanches à gorges jaunes, groupées par quatre ou huit, prospérant bien sur une bonne terre de jardin à exposition ensoleillée.*

Le lis doré (Lilium auratum), *fort beau, a des pétales blancs, recourbés en arrière, parsemés d'un pointillé rouge-brun avec une raie jaune pâle simulant une nervure médiane.*

Le lis tigré (Lilium tigrinum) *fleurit en juillet et en août; il peut porter jusqu'à vingt fleurs pendantes rouge-orangé tachées de pourpre noire. C'est une espèce rustique qui se cultive en terre légère plutôt fraîche. Toutes ces espèces botaniques et leurs variétés sont produites et forcées en serre. Mais pour la décoration des jardins, elles sont supplantées par plusieurs lignées hybrides de création récente, obtenues par croisement des espèces originelles et désignées sous le nom de lis américains : ces hybrides ont une floraison plus importante, une grande diversité de coloris et une parfaite rusticité.*

Les lis demandent un sol bien drainé. Le terrain doit être riche en humus (terre de jardin et terreau mélangés en parts égales); on enterre les bulbes à 20 cm de profondeur, d'août à septembre, à une distance de 35 à 40 cm.

Ils peuvent aussi être laissés en pleine terre pendant quatre ou cinq ans, à condition de bénéficier d'une exposition ensoleillée de préférence à l'est. Sous un ombrage léger, ils prennent des nuances plus délicates, mais les hampes florales deviennent fragiles par suite de l'étiolement.

Les lis s'enracinent profondément et nécessitent un arrosage abondant. Pendant la période végétative, ils n'aiment pas à être déplacés et il ne faut pas les trans-

Bavestrelli - Bevilacqua - Prato



Un lis tigré *(Lilium tigrinum)* d'un bel effet décoratif en raison de sa chaude couleur rouge-orangé.



Un exemple d'hybride dérivé de *Narcissus incomparabilis.*

Bavestrelli - Bevilacqua - Prato

Une autre variété d'hybride d'un jaune d'or intense.

planter tant que les touffes ne se dégarnissent pas au centre.

De nombreuses espèces hybrides peuvent être cultivées en pots : les bulbes plantés en automne sont mis dans un endroit frais jusqu'au printemps où ils porteront une floraison précoce.

Toutes les variétés de lis sont très appréciées des fleuristes pour le commerce des fleurs coupées ; certaines font l'objet de cultures horticoles en serre.

LES NARCISSES

Les narcisses doivent leur nom à un jeune Grec trop beau et trop amoureux de sa beauté que les dieux changèrent en fleur. Ce mythe a inspiré poètes et peintres ; Paul Valéry lui a consacré un de ses plus admirables poèmes. Typiquement printaniers, les narcisses existent sous des formes rustiques ; en particulier, le narcisse des poètes (Narcissus poeticus) *parsème les forêts et les bois. Ses fleurs d'un blanc transparent, parfumées, sont faites d'une coronule ou œil central plat. Les narcisses décorent également les jardins car ils se cultivent facilement et ont une floraison très précoce. Le narcisse des poètes a donné des variétés à fleurs doubles. Hybridées avec* Narcissus tazzetta, *espèce méridionale à bouquet de petites fleurs blanches, elles deviennent* Narcissus poetaz *à fleurs plus grandes que* Narcissus tazzetta *et à la coronule jaune-orangé. Des variétés ornementales totalement blanches ont été créées par sélection : les floriculteurs les appellent narcisses à bouquets car ils présentent de petites fleurs à couronne centrale peu développée, réunies par quatre ou dix au sommet des tiges.*

Le développement considérable de la coronule peut former un tube plus ou moins long : c'est le cas des narcisses trompettes ou coucous, Narcissus pseudonarcissus *aux fleurs simples ou doubles, larges, penchées, jaunes, solitaires à bords effrangés, improprement appelés jonquilles. Ce nom doit être réservé aux narcisses jonquilles,* Narcissus jonquilla, *fort communs dans les garrigues du Midi. Le parfum de ses petites fleurs jaunes, doubles, évoque l'acacia et la fleur d'oranger ; son feuillage est persistant. En général, les narcisses à coronule plate sont plus odorants que les narcisses à long tube.*

Le narcisse incomparable, Narcissus incomparabilis, *hybride du narcisse des poètes et du narcisse trompette, a une coronule très ouverte, une fleur solitaire sur une tige grande et élégante. Les variétés diffèrent par leurs colorations du blanc au jaune, les dimensions de la coronule jaune, rouge ou orangée. Citons « Scarlet élégance » aux fleurs jaune d'or avec une couronne frisée, effrangée, vermillon vif.*

Il existe de multiples variétés de narcisses, certaines uniflores et étoilées comme les narcisses barii, *d'autres à fleurs doubles comme « white lion ».*

La culture des narcisses est simple et demande peu de soins. Ils prospèrent en tous terrains. A l'automne, on plante les bulbes par deux ou trois à 15 cm de profondeur dans du terreau sec et sableux. Les bulbes se multiplient d'eux-mêmes et forment avec l'âge des touffes énormes qui peuvent porter chacune une centaine de fleurs, accompagnées d'un feuillage rubané vite fané après la floraison et que l'on supprimera. Les narcisses sont très sensibles aux engrais qui améliorent considérablement leur floraison. En juillet, on arrache les touffes et on sépare les bulbes.

On peut aussi effectuer des semis mais ce procédé est habituellement réservé à la sélection de nouvelles variétés car les plantes provenant des graines mettent quatre ans à fleurir.

Les narcisses à bouquets poussent très bien en appartement soit sur carafes, soit dans de la mousse humide ou encore selon le procédé chinois dans une coupe remplie d'eau enfouie partiellement dans du gravier : on dispose les bulbes dès le mois d'octobre, les tiges florales se développent rapidement, on peut espérer les voir fleurir pour Noël : c'est là un mode de culture spécial car les bulbes sont perdus.

Les narcisses sont une des plus belles parures du printemps. Plantés en touffes au bord des bosquets, ils les animent ; on peut aussi les disposer en corbeilles ou les disséminer sur les pelouses, dans les parties éclairées des sous-bois et au bord des pièces d'eau.

Les fleurs coupées sont de longue durée. Les fleuristes les associent souvent aux bleuets et aux coquelicots pour composer des bouquets champêtres.

Un narcisse trompette *(Narcissus pseudonarcissus)* improprement appelé jonquille.



Bavestrelli - Bevilacqua - Prato

LES GLAIEULS

Avec les roses et les œillets, les glaïeuls forment l'essentiel des fleurs nobles que l'on cueille au jardin pendant l'été. Très appréciés également pour la composition de bouquets, ils font l'objet d'une demande croissante chez les fleuristes. Les glaïeuls, plantes bulbeuses, vivaces, de la famille des Iridacées (monocotylédones), doivent leur nom à la forme en glaive de leurs feuilles longues, étroites, pointues et plates comme des épées, à nervation parallèle. Les fleurs sont grandes et de vives couleurs : elles forment une hampe florale droite avec de longs et gros épis terminaux se présentant généralement sur une seule face. Les coloris, frais et variés, vont du blanc au violet en passant par le jaune, le rose et le rouge.

Le genre comprend trois cents espèces, et beaucoup croissent à l'état sauvage en Afrique et en Asie. Toutefois, en France, deux espèces au moins existent à l'état spontané : la petite flambe lis de saint Jean (assez rare) et le glaïeul des moissons ; ajoutons-y le glaïeul des marais.

C'est aux Hollandais que nous devons la grande diffusion de ces plantes. Les Boers en furent les principaux exportateurs en Europe. Si on excepte Gladiolus byzanthinus, *introduit en 1629 et originaire de Turquie, les glaïeuls cultivés résultent de nombreux croisements entre espèces typiques africaines.*

Souchet, jardinier de Napoléon III, a lié son nom aux premières sélections. Le fondateur des glaïeuls à grandes fleurs est Beddinghaus qui a obtenu le glaïeul de Gand en 1841 par croisement entre Gladiolus psittacinus *(glaïeul perroquet) et* Gladiolus cardinalis *(glaïeul cardinal), espèces sauvages africaines. Par la suite, Lemoine de Nancy créa des glaïeuls à grandes macules en croisant les belles variétés de glaïeul de Gand avec le glaïeul pourpre et or* (Gladiolus purpureo-auratus). *Cette race a donné des variétés de toutes couleurs allant jusqu'au bleu (alors qu'il n'existe pas dans les espèces naturelles).*

UN VASTE CHOIX DE VARIÉTÉS ET DE COULEURS

Aujourd'hui, les glaïeuls des jardins résultent de tant de croisements qu'il n'est plus possible de distinguer leur parenté botanique. Les horticulteurs se contentent de les classer en hâtifs, mi-hâtifs, tardifs, et par couleurs. Les collections se modifient d'une année à l'autre, des variétés nouvelles apparaissent continuellement, auxquelles certaines, plus anciennes, doivent faire place.

Parmi les plus cultivées, nous citerons le Jean-Sébastien Bach hâtif, à très grandes fleurs rouges, la princesse des neiges, le plus populaire des blanc crème demi-hâtifs, le Picardie rose saumon ainsi que le Leuwenhorst : tous fleurissent d'avril à juin.

Le Washington rose champagne, l'Europe nouvelle, écarlate, le baiser du matin, blanc teinté de rose, le Maria Goretti, blanc à grandes fleurs, sont considérés comme mi-hâtifs et fleurissent en juillet-août.

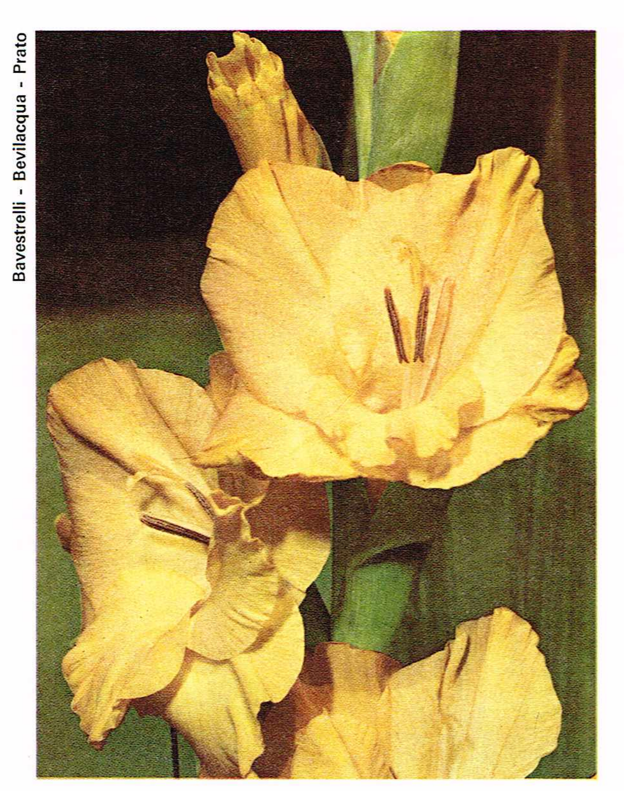
La saison se termine en août-septembre par le spic and span, saumon vif, le sans souci, écarlate avec une petite raie jaune, et le cardinal Spellman, pourpre.

On commence également à cultiver les glaïeuls à petites fleurs, les « miniatures » et les butterfly, races précoces, hybrides aux coloris variés et au port gracieux. Certains fleurissent en pots de novembre à janvier, comme le très précoce glaïeul perroquet variété Hoker. Certaines variétés à floraison hivernale cultivées dans le nord de l'Europe sont intéressantes comme fleurs coupées : elles portent

Bavestrelli-Bevilacqua-Prato.



La perfection des formes des glaïeuls et la richesse de leurs coloris résultent d'hybridations complexes et nombreuses.

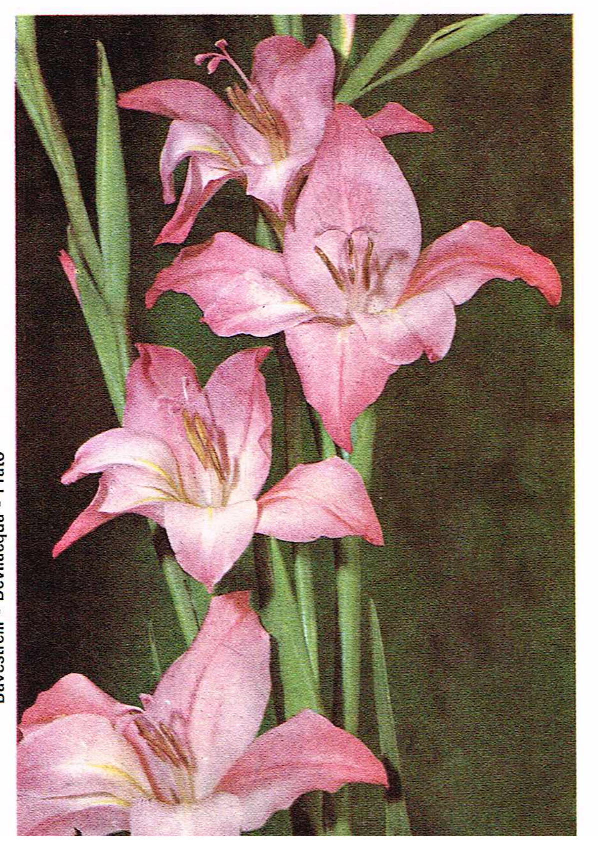


Encore un hybride particulièrement réussi : remarquez l'intensité du jaune et l'ampleur de chaque fleur.

quatre ou cinq fleurs sur une hampe fine mais ferme, tel le Tristis, *odorant, à fleurs blanc crème tacheté de café.*

Malgré toutes leurs qualités présentes, les glaïeuls ne sont sans doute pas arrivés à l'apogée de leur évolution. On arrive à obtenir des fleurs de plus en plus grandes, plus nombreuses dans l'épi, plus précoces et à bulbe « éléphant » donnant chacun plusieurs épis ; on améliore aussi leur rusticité. Des glaïeuls parfumés sont apparus aux U.S.A., mais c'est en Nouvelle-Zélande que les résultats les plus spectaculaires ont été obtenus. Déjà ornements admirables, les glaïeuls ajouteront par leur parfum une âme à leur beauté.

Une variété cultivée en Hollande : les hampes fines portent de nombreuses fleurs de taille moyenne.



LA CULTURE DES GLAIEULS

Plantes peu exigeantes en matière de sol, elles préfèrent cependant les terres argilo-calcaires à exposition très éclairée et aérée mais à l'abri des vents violents. On choisira les bulbes de taille moyenne car les plus gros donnent des fleurs imparfaites, dégénérées, à épis souvent déformés et mal disposés.

Si l'on veut éche'onner les floraisons de juillet à octobre, on fera trois plantations successives : la première s'étale du 15 mars à la fin d'avril sous les climats de type parisien (à ne planter que lorsque le sol est suffisamment réchauffé, vers 12 °C), de janvier à juin dans les régions chaudes (Côte d'Azur et Riviera) et jusqu'en juillet pour les variétés tardives.

Le bulbe ou cormus est un rhizome dont la durée est limitée à une seule année. Au cours de son développement un nouveau cormus s'organise à la base de la tige feuillée et fleurit au-dessus de l'ancien qui s'épuise. Lorsqu'on arrache le glaïeul, on se trouve donc en présence d'un oignon nouveau enveloppé de quelques peaux pelliculaires roses, jaunes ou violacées, et l'on aura soin d'éplucher celui-ci pour s'assurer de son bon état sanitaire : ni parasites, ni zones nécrotiques. A la partie supérieure de l'oignon, on distingue une cicatrice ronde : c'est l'emplacement de la tige florale ; contre elle, un bourgeon, promesse de celle de l'année suivante. Un autre petit bourgeon existe, diamétralement opposé au précédent. Son développement futur est aléatoire ; il peut cependant produire une seconde hampe florale. On trouve souvent à la périphérie du nouvel oignon de minuscules caïeux : ce sont des bulbillons. Stratifiés dans du sable, puis semés de bonne heure au printemps, ils peuvent former des cormus qui arrivent à fleurir au bout de deux ou trois années de culture.

Une fois sélectionnés, les bulbes sont mis à demeure au printemps à 10 ou 15 cm de profondeur à lignes distantes de 40 à 50 cm. On doit les recouvrir suffisamment afin de leur assurer un bon ancrage et de faciliter ainsi la formation du bulbe de remplacement ; les arrosages seront fréquents ; on pourra y incorporer une fumure minérale ; l'azote sera donné en cours de culture. On voit sortir d'entre les feuilles la hampe florale dressée jusqu'à 2 m de hauteur. La récolte s'effectuera dès l'éclosion des fleurs de base, les supérieures s'ouvrant dans un vase. On évitera de cueillir les feuilles car ce sont elles qui élaborent les principes nutritifs nécessaires à la formation du nouveau bulbe, et on continuera les arrosages et les traitements antiparasitaires jusqu'à jaunissement complet de celles-ci. Il est préférable de ne pas replanter des bulbes au même emplacement avant trois ans.

Les oignons sont arrachés début novembre et séchés à l'air. Quand les tiges se détacheront sans effort, on rangera les bulbes en lieu sec pour les replanter au printemps. Le semis est réservé au spécialiste qui recherche de nouvelles variétés car il ne donne qu'un nombre infime de plantes de valeur.

Comme toutes les plantes cultivées, les glaïeuls ne sont pas exempts de maladies : la mosaïque (virus) attaque les pieds qui présentent alors des marbrures ou des stries jaunâtres sur les feuilles ; les feuilles sont réduites en taille, en nombre ou avortées. Si l'on ajoute trop d'engrais azoté, il y a risque de dépérissement des individus robustes et sains. En outre, un petit Insecte, le thrips, hiberne sous les enveloppes du bulbe et provoque leur anémie. Il peut y pondre, et on compte de cinq à sept générations d'Insectes par saison qui feront jaunir les feuilles et n'épargneront pas les fleurs. Pour combattre ce parasite, on fera des épandages et des pulvérisations à base de DDT ou d'éther phosphorique ; le meilleur moment pour effectuer ce travail sera la tombée de la nuit au moment où les Insectes sortent.

D'autres maladies assez fréquentes d'origine bactérienne provoquent la pourriture molle des bulbes et sont traitées avec des anticryptogamiques spécifiques.

Les glaïeuls permettent surtout de composer de magnifiques bouquets de très longue durée, dont les fleurs s'épanouissent successivement. Ils peuvent être associés à d'autres fleurs.

LES ŒILLETS ET LES GÉRANIUMS

Œillets et géraniums ornent souvent ensemble balcons et terrasses. Odorants, de coloris gais et variés, ils éclairent murs, escaliers, fenêtres.

LES ŒILLETS

Les œillets appartiennent tous au genre Dianthus *(famille des Caryophyllacées) et peuvent être annuels ou vivaces, à fleurs solitaires ou en groupes, et fleurissent une fois ou deux par an.*

Dianthus plumarius, *connu dans nos jardins d'Europe depuis 1542, est l'œillet mignardise, espèce d'origine purement orientale. Haut de 10 à 20 cm seulement et formant des touffes denses aux tiges rameuses, courtes et couchées, les œillets mignardises constituent parfaitement bordures de parterres ou entourent rocailles et massifs. Ils fleurissent avec générosité d'avril à juillet; le feuillage, compact, est vert glauque; les tiges s'étalent en larges touffes, et les fleurs grandes, odorantes, sont roses ou blanches, simples ou doubles. Elles affectionnent les expositions ensoleillées. Les formes horticoles de l'œillet mignardise sont fort nombreuses, car la plante s'hybride facilement : les variétés ne diffèrent guère que par des nuances et par leur résistance plus ou moins grande aux Champignons qui les attaquent.*

C'est une plante annuelle ou vivace, selon les climats et les méthodes de culture. On la reproduit facilement par semis ou par division des touffes les mieux développées.

Les œillets de Chine de l'espèce Dianthus chinensis, *connue en Orient dans les jardins depuis 1702, en Europe depuis 1713, s'emploient en pleine terre pour la décoration des massifs, des plates-bandes, corbeilles ensoleillées, et se contentent de sols peu fertiles. Ils fleurissent de mai à septembre. C'est une plante annuelle, à tige rameuse, de 20 à 30 cm de hauteur, aux fleurs nombreuses, solitaires, de tous coloris, allant du blanc au pourpre-noir en passant par le violet, sauf le jaune et le bleu. Les pétales frangés ont des bords plus clairs ou des taches foncées.*

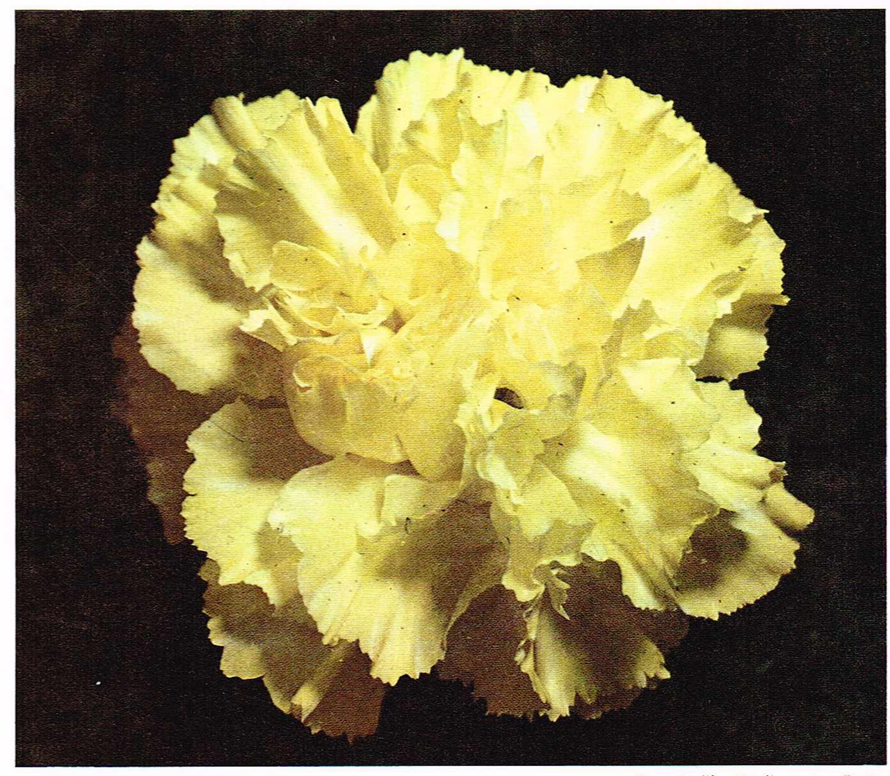
Autre variété appréciée soit pour les plates-bandes, soit pour les bouquets, l'œillet des poètes (Dianthus barbatus) *est une plante vivace, ou bisannuelle; il présente des tiges rameuses de 30 à 40 cm de hauteur, à feuilles larges, lancéolées, à fleurs petites simples ou doubles, réunies en grand nombre formant des bouquets arrondis, parfaits, unicolores, panachés, veloutés. Il fleurit de mai à juillet et se reproduit par semis. Susceptible d'être atteint par de fortes gelées, l'œillet des poètes doit être ressemé régulièrement. Il en existe des variétés naines intéressantes pour l'emploi en pots et en bordures.*

Mais l'œillet par excellence est celui qui dérive de Dianthus caryophyllus, *ou œillet des fleuristes, vivace, riche en variétés et en races; cultivé pour le commerce des fleurs coupées, il pousse également en pot. Ce genre très étendu comprend un très grand nombre d'espèces botaniques et de variétés horticoles résultant d'hybridations successives entre différentes races et variétés. De toutes tailles, de toutes formes, de toutes gammes de couleurs, parfumés ou inodores, simples ou doubles, tigrés, tachetés, striés ou ornés de figures, l'emploi de ces œillets est très varié.*

On le cultive industriellement dans le midi de la France. Il est vivace, à souche ligneuse, ramifiée. Il se propage par boutures en pleine terre ou par marcottage en terreau léger, sableux, à l'ombre. On peut aussi faire des semis d'avril à mai en pépinière bien exposée. Les jeunes plants sont repiqués quand ils possèdent six à huit folioles à des

Bavestrelli - Bevilacqua - Prato





Bavestrelli - Bevilacqua - Prato

Délicatesse du parfum, richesse des coloris, deux qualités appréciées chez les œillets.

Bavestrelli - Bevilacqua - Prato



Le géranium lierre se prête admirablement à la décoration des murets et des haies.

intervalles de 10 à 12 cm. Les races vivaces fleurissent l'année suivant celle du semis. Dans ce groupe, on trouve les non-remontants à floraison précoce et à floraison estivale, puis les remontants à floraison tardive, parmi lesquels l'œillet de Nice, champion de la fleur à couper.

Les races annuelles fleurissent l'année même du semis : en général remontantes, il existe des variétés doubles dont le port et la floribondité permettent de composer de magnifiques bouquets très tenaces.

Pour s'assurer d'une belle floraison avec des fleurs régulières, on taillera les rejetons basaux trop nombreux et on ôtera les boutons les moins vigoureux et les plantes en surnombre.

LES GÉRANIUMS

Ces plantes si populaires fleurissant tout l'été en rocaille ou dans des pots, sur les balcons ou dans des jardinières, sont pour les botanistes des pélargoniums (famille des Géraniacées). Le genre Geranium *comprend des plantes vivaces, rustiques, poussant à l'état sauvage en altitude, à l'ombre. Les pélargoniums sont des plantes herbacées, souvent de grande taille, retombantes, dressées ou même rampantes. Les feuilles, arrondies, polygonales ou découpées, encadrent des fleurs plus ou moins importantes, rarement solitaires, mais plutôt réunies en inflorescences globuleuses de toutes nuances, couvrant toute la gamme du rouge, du rose clair au rouge très vif ; on trouve parfois le blanc, rarement le jaune. On continue cependant à parler de géraniums, et les espèces les plus utilisées pour les parterres, les terrasses, les serres ou les appartements proviennent des hybrides entre* Pelargonium zonale *et* Pelargonium inquinans, *originaires d'Afrique australe. Le plus connu est le géranium lierre :* Pelargonium peltatum, *rampant ou retombant. Les feuilles coriaces et brillantes sont ciselées, tachetées comme celles du lierre ; les fleurs simples ou doubles conviennent parfaitement pour rompre l'uniformité d'une fenêtre ou garnir une jardinière. Il résiste bien à la chaleur, à la sécheresse ; il est très florifère. Les branches palissées sur des tuteurs se prêtent aux formes les plus fantaisistes et les plus diverses, cascades de fleurs sur des murs de la Côte d'Azur et de la Riviera.*

Autre hybride, Pelargonium grandiflorum *(ou à grandes fleurs), généralement connu sous son vrai nom, est moins rustique que le géranium lierre. C'est une belle plante avec des coloris remarquables et des pétales tachetés à la base, dont on cultive de nombreuses variétés pour les plates-bandes et la décoration du jardin.*

Cultivés depuis 1810, d'autres hybrides, Pelargonium hortorum *et* Pelargonium hybridum, *aux feuilles arrondies, peu lobées et crénelées, de couleur vert foncé, molles, épaisses, parfumées, présentent des zones rougeâtres caractéristiques. Les fleurs simples ou doubles sont en inflorescences globuleuses.* Pelargonium hybridum *sert à composer des corbeilles et, quand le climat le permet, à orner avec des plants juvéniles et courts des parterres, des massifs et des bordures.*

La culture des géraniums

Tous les Pelargonium *se multiplient par semis dont la réussite est liée à un éclairement aussi intense que possible, à une humidité constante, mais, dans la pratique, on préfère le bouturage. A la fin de l'été, les boutures sont prélevées sur les pieds mères spécialement plantés à cet effet en terrain maigre et peu arrosé afin d'obtenir des boutures bien lignifiées, plus résistantes à la pourriture. Les boutures s'enracinent facilement en un mois environ et ne demandent guère de soins. Préparées en pleine terre ou en serre froide dans du terreau léger, on les repique à la fin septembre dans un sol bien drainé en serre tempérée, éclairée et aérée. On arrosera modérément, et on ôtera les feuilles jaunies ou mortes. Vers la fin d'avril, on plantera ces boutures à demeure en arrosant fréquemment. Géranium à massifs ou géranium lierre ont tous les mêmes besoins : de l'air et du soleil. Ils craignent seulement l'ombre et les excès de calcaire : trois expositions sont possibles : est, ouest, sud.*

Les beaux géraniums méritent d'être conservés en fin de floraison : ce seront les pieds mères. Arrachés et taillés, on réduira du quart les branches choisies que l'on placera dans des pots bien drainés, et on arrosera modérément pendant l'hiver.

La durée de leur floraison, leur bon comportement aux situations ensoleillées, la facilité de leur culture, surtout, font des géraniums des éléments de décoration incomparables, appréciés de tous.

LES IRIS ET LES FREESIAS

Iris et freesias sont des Iridacées, famille riche en espèces ornementales à belles fleurs qui a pris une très grande importance dans la décoration des jardins.

LES IRIS

Ces fleurs de forme étrange sont des plantes susceptibles de pousser dans les conditions les plus diverses, dans l'eau, dans les murs et même sur les toits. La structure très personnelle de leurs fleurs (on les a souvent comparées aux orchidées), l'étonnante diversité de leurs coloris, la proverbiale facilité de leur culture et leur fidélité (ils peuvent rester à la même place pendant des années) les ont rendus indispensables dans toute propriété.

Originaires des régions extratropicales septentrionales, ce sont des plantes à bulbe ou à rhizome, à feuilles en forme de sabre et à belles fleurs de six pétales alternes : les trois externes sont recourbés à la partie supérieure et pourvus d'une bande de papilles jaunes en saillie ; les trois internes, plus petits, s'étendent vers le haut.

Les iris spontanés existent dans nos régions, comme l'iris faux acore (Iris pseudocorus) *jaune veiné de pourpre qui vit dans les marais et le long des fossés (mais il en existe des variétés horticoles) ou l'iris de Sibérie* (Iris sibirica) *et l'iris bâtard* (Iris spuria) *plus rare à fleurs violacées, l'iris d'Allemagne* (Iris germanica)*, des régions méditerranéennes jusqu'aux pentes les plus ensoleillées des Alpes.*

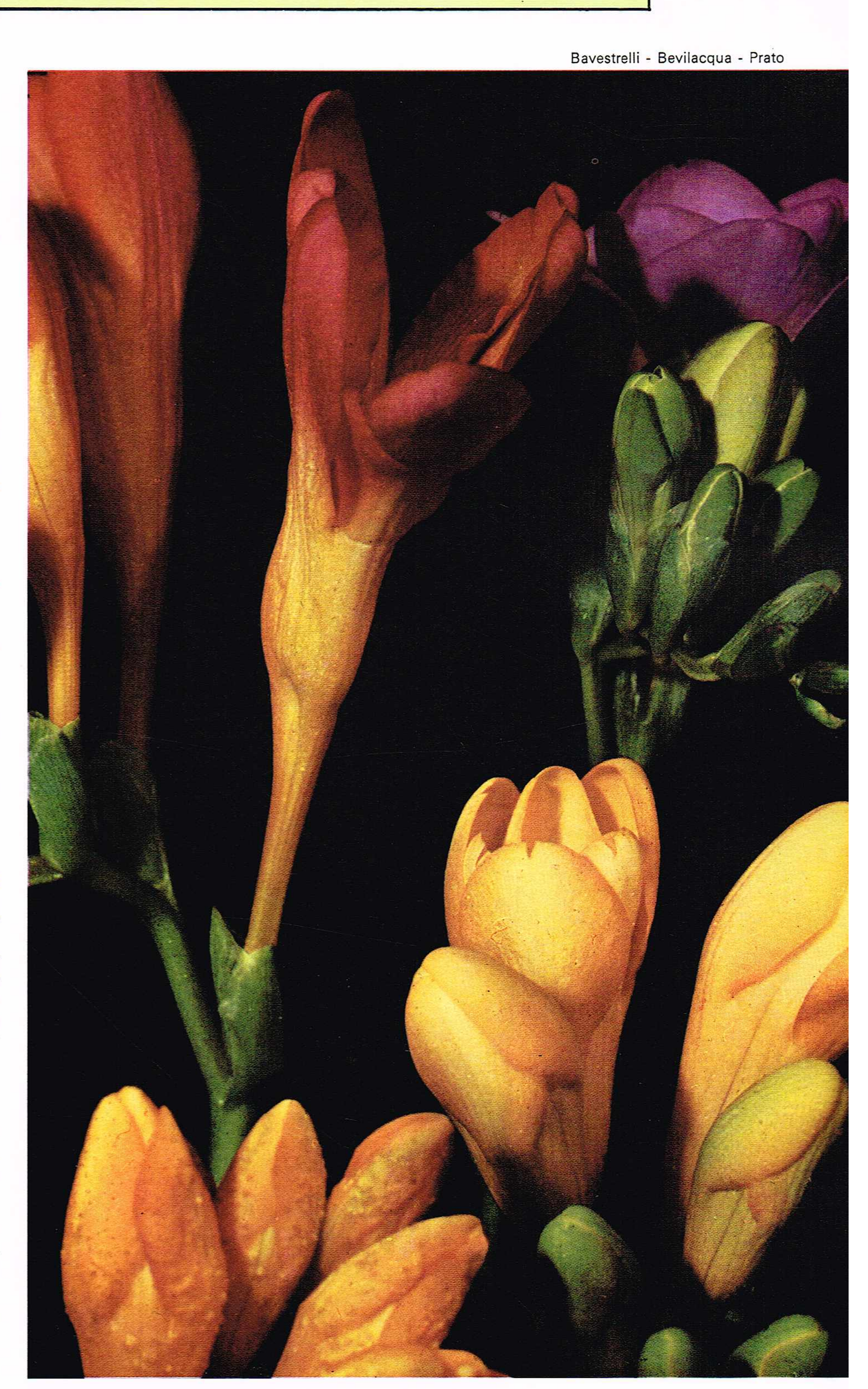
Les iris des jardins peuvent se diviser en trois groupes : dans le premier groupe, xiphium/xiphioïdes, on trouve l'iris d'Espagne cultivé depuis 1570. Il a des feuilles étroites, filiformes et des fleurs solitaires, odorantes. Souvent spontané en Corse, Sardaigne, Espagne, Afrique du Nord et dans les prairies proches de la mer, il a donné par sélection l'iris de Hollande précoce. Dans ce groupe, on trouve aussi l'iris des Pyrénées connu en floriculture depuis 1571 au bulbe ovoïdal et aux feuilles linéaires et enroulées. Les fleurs doubles se trouvent à l'extrémité de hampes de 40 à 50 cm.

*Le second groupe est celui d'*Iris germanica *et d'*Iris florentina *(iris d'Allemagne et de Florence) à fleurs plus grandes. Un travail considérable de sélection a permis d'obtenir de cette espèce une gamme de coloris très riche où se retrouvent toutes les couleurs teintant uniformément les fleurs ou se mélangeant en panachures et en nuances délicates. A la gamme des bleus et des violets qui étaient la caractéristique de l'espèce type, s'ajoutent maintenant des jaunes, des orangés, des roses et des rouges d'une richesse extraordinaire. Les variétés modernes se différencient par leur précocité et leur hauteur : ce sont les iris hybrides des jardiniers connus en culture depuis 1542. Ces iris modernes ont remplacé les variétés anciennes. Il y a maintenant des iris de plus de 1 m de haut. Certains portent de quinze à dix-huit boutons par tige ; d'autres fleurissent pendant trois semaines et même un mois. Tous ont conservé la proverbiale opiniâtreté des anciens iris de talus alliée à une grande rapidité de croissance et à une même facilité de multiplication.*

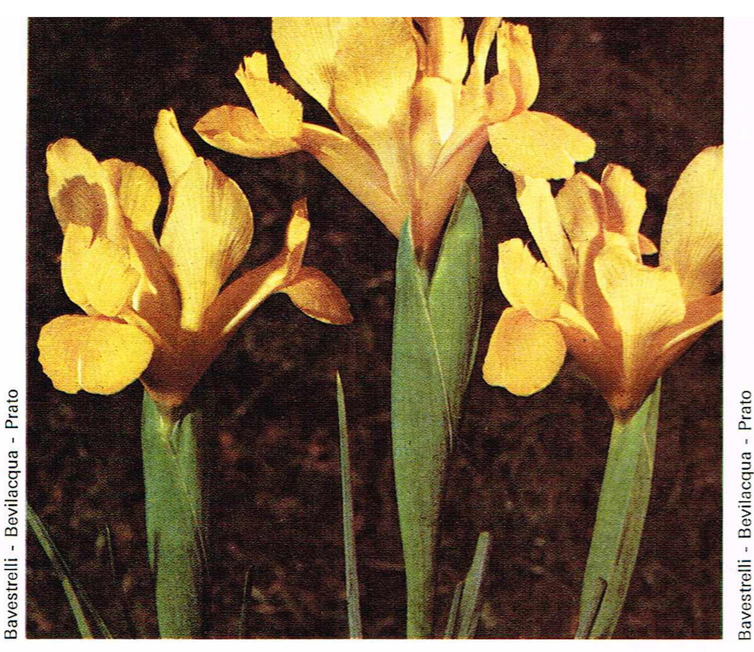
*Le troisième groupe est celui d'*Iris pumila*, ou iris humble, introduit en floriculture vers 1558 et constitué par des plantes naines. Plusieurs variétés sont également d'origine hybride. Leur taille n'excède pas 20 cm, et ce sont des plantes précoces qui fleurissent en avril-mai, violet foncé, bleu pâle, blanc plus ou moins teinté de jaune. Parfait pour les rocailles, dallages et vieux murs de pierre,* Iris pumila *offre ses splendides touffes de fleurs.*

*Sous le nom d'iris intermédiaire, on trouve un certain nombre de variétés résultant de croisements de l'iris des jardins et d'*Iris pumila*. Intermédiaires, ces iris le sont en tous points par la taille et l'époque de floraison.*

Bavestrelli - Bevilacqua - Prato



De très jolies taches florales sont obtenues grâce aux teintes délicates et dégradées des freesias.





Les iris d'Espagne, dérivés d'*Iris xiphium*, peuvent être soit jaunes, soit blancs, soit bicolores.

Pour garnir le bord des étangs où ils composent des décors d'une originale élégance, les iris de Kaempfer, ou iris japonais, originaires de ce pays, sont une espèce semi-aquatique. Ils diffèrent des précédents par une corolle largement étalée comme un énorme papillon blanc, pourpre ou bleu foncé souvent strié. Au Japon, cet iris est l'objet d'un véritable culte. Au début de l'été, les Japonais se rendent en pèlerinage au « jardin du seul iris », où tout est disposé pour mettre la fleur en valeur. Il existe localement une centaine de variétés cultivées depuis plus de mille ans.

La culture des iris

Ces plantes se multiplient par division des rhizomes effectuée de juillet à octobre, ce qui correspond à la période de repos. Les fragments de rhizomes doivent comporter au moins une pousse et être espacés d'une trentaine de centimètres. On peut grouper ces plants ; les rhizomes doivent rester à fleur de sol, leur partie supérieure recevant le soleil. Trop enterrés, ils pourrissent.

Au bout de trois ou quatre ans, les iris sont trop serrés. On arrache les touffes et on refait la plantation en utilisant les pousses qui se trouvent à l'extrémité du rhizome. Ces iris poussent à la rigueur à l'ombre mais ne fleurissent généreusement qu'au soleil, même en terre médiocre. Leurs fleurs ont la grâce et les dégradés de l'orchidée.

De nombreuses variétés d'iris présentent des teintes bicolores délicatement nuancées.



***Iris xiphium* aux fleurs plus étroites que celles d'*Iris germanica*.**

On peut aussi multiplier ces iris par semis de graines récoltées en juillet et semées au mois de mars de l'année suivante. Les plants à deux ou trois feuilles sont repiqués en pépinière, la mise en place se fait l'année suivante, et ce n'est qu'à la troisième année de culture que l'on obtient une floraison importante. Certaines variétés se reproduisent facilement, d'autres donnent des plantes à fleurs différentes de celles du porte-graines, mais toujours intéressantes. On les utilise au bord d'un bassin, d'une pièce d'eau où ils se plaisent particulièrement. Ils rentrent aussi dans la composition d'une plate-bande fleurie ou de petits massifs à mi-ombre.

Il y a des jardins d'iris comme il y a des jardins de roses et de dahlias. Le parc de Bagatelle, dans le bois de Boulogne, possède la plus belle collection française d'iris, et il existe au Muséum d'histoire naturelle un jardin d'iris anciens.

Rivaux des orchidées, leurs fleurs généralement odorantes ont acquis dans les nouvelles variétés des coloris d'une diversité et d'une somptuosité sans égale. Ce sont des plantes d'une grande valeur décorative : le reproche concernant la brièveté de leur floraison n'est plus justifié aujourd'hui puisque leur période de beauté peut se prolonger d'avril à fin juin.

LES FREESIAS

Les freesias dérivent de Freesia refracta (Gladiolus refractus)*, originaire d'Afrique australe. C'est une plante vivace, haute de 25 à 40 cm, à feuilles linéaires, légères et fines, engainantes à la base, à hampe florale souple supportant une petite grappe de fleurs tubuleuses, odorantes, dressées du même côté, apparaissant de mars à mai en culture de pleine terre.*

Il y a peu d'espèces et de variétés. Les Freesia refracta *à fleurs blanches d'origine présentent des formes à fleurs jaunes, violettes ou pourprées.*

Introduit en France en 1879 et importé du cap de Bonne-Espérance, nous citerons Freesia armstrongii *qui, par croisement avec* Freesia refracta*, a donné une série d'hybrides, plantes plus hautes et plus vigoureuses.*

La culture des freesias

La culture se fait par multiplication des bulbes, après séparation en août-septembre. Triés, on les plante dans un mélange de terre et de terreau de feuilles ; on les place ensuite sous châssis très éclairés, aérés, et peu arrosés. Ils peuvent être forcés en serre. Les premiers, plantés à la fin d'août, fleurissent en décembre ; quand le climat le permet, on les cultive en pleine terre soit pour le jardin, soit pour le commerce des fleurs coupées. La propagation se fait aussi par semis très clairsemé, mais le repiquage est difficile.

Les freesias sont également d'excellentes plantes de serre ; en appartement, elles sont très appréciées car leur floraison dure longtemps.

ZINNIAS, CINÉRAIRES ET AUTRES COMPOSÉES

En botanique, les Composées forment le groupe qui rassemble le plus grand nombre d'espèces, et il est impossible de les dénombrer dans les fleurs cultivées de nos jardins. Des dahlias aux chrysanthèmes, des marguerites aux centaurées, ce sont des fleurs en général rustiques et décoratives, parmi lesquelles nous choisirons tout d'abord zinnias et cinéraires.

LES ZINNIAS

Les zinnias nous viennent du Mexique où ils sont représentés par Zinnia elegans *et* Zinnia aurea. *Introduits en France dès le XVIII*e *siècle, ils ont pris une place définitive dans nos jardins depuis une centaine d'années. Plantes à tiges rigides, dressées, élevées, se terminant par des capitules composés de nombreux pétales, aux ligules larges et charnues, les* Zinnia elegans *offrent tous les coloris excepté le bleu ; les* Zinnia aurea *se caractérisent par des capitules jaune-orangé avec un disque noirâtre.*

Les horticulteurs ont obtenu par hybridation une multitude de variétés et classent les zinnias selon leur taille.

Les grands zinnias dits géants, à fleurs pleines, d'origine américaine, surpassent de très loin les variétés anciennes : ils peuvent atteindre 70 à 90 cm de hauteur et forment de vastes massifs unicolores ou panachés. Citons le « géant de Californie » aux ligules tuyautées qui donnent à ces fleurs une légèreté bien attrayante.

Il existe des variétés naines ne dépassant pas 30 à 50 cm et portant de nombreuses fleurs doubles et bien formées à petits capitules globuleux. Ce sont les « Lilliput » et les « pompons » très florifères, parfaits pour les bordures.

La culture des zinnias

Les zinnias sont des plantes annuelles dont les semis s'effectuent en avril-mai en pépinière abritée ; on les met en place après repiquage. Ils sont semés « à chaud » (la température idéale de germination se situe à partir de 15°) dès mars, mis en châssis en avril ; la mise en place définitive se fait en pleine terre dès le mois de mai, après les gelées ; cette méthode permet une floraison plus rapide. De la fin de mai jusqu'au 15 juin, on peut directement les semer sur place pour former des touffes dans une plate-bande de plantes annuelles. Ils aiment toutes les terres à exposition ensoleillée.

Malgré leur port lourd et géométrique, leur manque de parfum, les zinnias, par leur robustesse, la facilité de leur culture, et la durée de leurs fleurs, sont des plantes annuelles idéales pour les jardins de week-end et les bouquets. Plantureux et riches en couleurs, ils se cueillent à peine ouverts : ce sont les fleurs d'été par excellence.

LES CINÉRAIRES

Au point de vue botanique, elles appartiennent à l'espèce Senecio cruentus *introduite en 1777 et originaire des îles Canaries. Plantes bisannuelles, de 40 à 60 cm de hauteur, à tiges dressées et ramifiées, à feuilles larges, dentées, plus ou moins cotonneuses. Les fleurs nombreuses, grandes, réunies en un large bouquet, couvrent entièrement la plante de février à juin selon l'époque du semis. Les coloris varient du blanc pur au pourpre velouté en passant par toute la gamme des rouges, des bleus, des violets.*

On distingue deux races principales qui se différencient par la précocité, la grandeur de la fleur et la hauteur de

Bavestrelli - Bevilacqua - Prato



Les cinéraires offrent une gamme infinie de coloris variés.



Bavestrelli - Bevilacqua - Prato

Capitules doubles de soucis « ball's orange » d'un bel effet décoratif.

la plante : les cinéraires hybrides à grandes fleurs, variété naine, de 18 à 20 cm, hâtive, et les cinéraires hybrides multiflores plus tardives aux fleurs petites et nombreuses et aux coloris variés multiples.

D'autres cinéraires originaires des îles Canaries ont un disque jaune et des rayons lilas ; certaines, entièrement jaunes, proviennent du Mexique, d'autres, d'Amérique du Sud, ont de beaux capitules dorés.

Les cinéraires maritimes créent par leur feuillage clair et argenté de superbes contrastes de couleurs quand elles voisinent dans les bordures avec des plantes à feuillage foncé.

Les semis se font en juin-juillet en cassettes, en pépinière ou en pleine terre fraîche et ombragée ; les graines clairsemées sont peu recouvertes ; la germination demande de huit à dix jours. Les jeunes plants de deux feuilles sont repiqués sous châssis aéré, ensoleillé, dans un sol bien drainé. On empote en novembre-décembre dans un mélange de terreau, tourbe, sable, terre. La période de forçage demande de six à huit semaines à température élevée (10-12°) ; la propagation par bouture peut se faire aussi pour les espèces rares et les races à capitules doubles. Les types à floraison tardive peuvent constituer de magnifiques massifs de plein air dans des régions à climat suffisamment doux.

Les cinéraires sont très utilisées en pots, pour les décorations intérieures où elles se montrent assez durables si la température n'est pas trop élevée.

AUTRES COMPOSÉES

Septembre, octobre, novembre sont trois mois difficiles pour fleurir le jardin ; pourtant de belles composées vivaces peuvent être à la base de la palette du jardin d'arrière-saison. De famille robuste, elles s'accordent bien avec la lumière d'automne ; elles s'accommodent d'une terre ordinaire et n'exigent qu'un emplacement bien dégagé.

Une riche floraison et des coloris très chauds, parfois agressifs, caractérisent les Rudbeckia. *La plante type est* Rudbeckia speciosa *(rudbeckia élégant) : 50 cm de hauteur et une profusion de grandes fleurs jaune d'or à centres bien noirs. Les grands* Rudbeckia *(1 m, 1,50 m) aux tiges fermes permettent de faire de très beaux bouquets. Si les* Rudbeckia *à tonalité jaune paraissent un peu trop communs, on adoptera le rudbeckia pourpre* (Rudbeckia purpurea) *plus rare dans les jardins, dont une espèce cultivée, « the king », à capitules cramoisis, représente le maximum d'élégance. D'origine américaine, elle s'élance jusqu'à 2 m de hauteur et peut former de belles haies.*

Très faciles à cultiver, on les sème de mars à avril sous châssis, de mai à juin en pépinière, et on les transplante sur place en automne. On peut aussi les multiplier par division des touffes en automne ou au printemps.

Les soucis jaune doré aux fleurs lumineuses (Calendula officinalis), *originaires d'Europe méridionale, sont cultivés pour les fleurs à couper. Les variétés les plus appréciées, ball's gold ou ball's orange, à capitules doubles, éclairent parfaitement les bordures printanières.*

Annuels, ils sont semés en septembre-octobre en pépinière et transplantés en mars-avril. On peut aussi les semer sur place d'avril à juillet, et la floraison a lieu de juillet à octobre. Ils se contentent de tous les terrains et de toutes les expositions. Le repiquage donne des fleurs plus grosses et doubles.

Pour décorer des bordures, les tagetes, du genre Tagetes, *originaires du Mexique, sont particulièrement indiqués. Introduite dans nos jardins vers 1550, l'espèce la plus belle est* Tagetes erecta, *ou rose indienne : c'est une plante rustique, à port dressé et buissonnant, au feuillage découpé exhalant une odeur très particulière peu agréable. Ses tiges robustes portent de gros capitules globuleux doubles, jaune soufre comme chez yellow supreme ou orangé vif chez Guinea gold.*

La seconde espèce, Tagetes patula, *ou œillet d'Inde, est plus réduite, de 40 à 50 cm. Ses capitules simples ou doubles à pétales tubulés ont des coloris variés.*

Enfin une troisième espèce, Tagetes tenuifolia pumila, *haute de 30 cm, de port compact, à capitules réduits et nombreux, jaunes, se présente comme un œillet d'Inde miniature. Les* Tagetes *sont semés de février à avril, repiqués en pépinière, mis en place en mai-juin à des intervalles de 30 à 50 cm.*

De vraies campagnardes, telles sont les gaillardes. Très décoratives, originaires d'Amérique du Nord, elles ont toutes de grandes fleurs simples et naïves à capitules peu fournis, à centres jaune rougeâtre aux rayons jaunes, souvent avec des ligules rouge pourpré.

Les dimorphotèques sont plus élégantes et délicates ; elles sont originaires d'Afrique du Sud ; leurs fleurs en forme de marguerites apparaissent de juin à septembre avec des coloris très brillants (blanc, orangé ou pourpre), rappelant celles des Gerbera, *ou marguerites du Transvaal.*

Comme les gaillardes, ce sont des plantes annuelles ou vivaces qui, semées en août, transplantées à la fin d'avril, s'épanouiront dans tous les jardins de juin aux gelées et assureront une floraison continue.

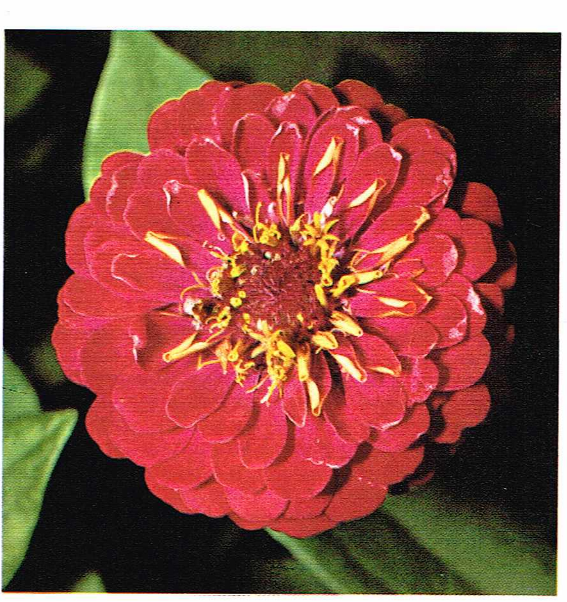
Les Coreoptis *d'Amérique du Nord sont annuels ou vivaces, aux feuilles légères et à capitules jaune d'or très lumineux.*

Les cosmées en sont proches. Originaires du Mexique, Cosmos bipinnatus *est une plante annuelle à tige élevée de 1,20 m, rameuse, aux feuilles divisées, fines, aux fleurs groupées par trois ou quatre, rappelant celles des dahlias.*

Semées en avril, repiquées en pépinière, mises à demeure en mai-juin, les cosmées sont cultivées pour le commerce des fleurs à couper.

Toutes ces retardataires sont précieuses ; elles prolongent le spectacle floral et retardent la relâche annuelle du jardin.

Zinnia elegans **d'une belle tonalité de rouge enrichie de reflets d'or.**



G. Mazza

LES CHRYSANTHÈMES ET LES MARGUERITES

Le genre Chrysanthemum *comprend non seulement les chrysanthèmes proprement dits, mais encore les marguerites, telle la grande marguerite blanche des prés, dont le nom scientifique est* Chrysanthemum leucanthemum.

Les marguerites sont innombrables : leur forme caractéristique est celle des Composées, capitules avec disque central jaune ou diversement coloré formé par de petites fleurs tubuleuses, entouré d'une couronne de fleurs en languettes. Cette description s'applique aussi bien aux pâquerettes et aux asters qu'aux chrysanthèmes.

LES CHRYSANTHÈMES

Cette appellation très générale désigne les nombreuses variétés issues de croisements effectués entre des espèces de chrysanthèmes originaires d'Extrême-Orient, dont les fleurs embellissent les jardins à l'arrière-saison.

Tous les chrysanthèmes font partie de l'espèce Chrysanthemum hortorum.

Des hybridations multiples ont donné naissance aux chrysanthèmes à grosses fleurs qui font l'objet d'un commerce important à l'occasion de la Toussaint, mais aussi à des races très différentes d'aspect, à capitules plus ou moins gros, simples ou doubles. Dans les chrysanthèmes à grosses fleurs, nous trouvons des variétés de coloris divers aux capitules plus ou moins plats, globuleux, réguliers ou non, et, suivant la disposition de leurs pétales ou ligules, on distingue les fleurs incurvées (à ligules tournées vers l'intérieur) qui sont les plus appréciées, les fleurs échevelées (à ligules retournées vers l'extérieur), les fleurs rayonnantes (à ligules enroulées sur elles-mêmes). Tous ces chrysanthèmes peuvent avoir des fleurs doubles.

D'autres races, très différentes des chrysanthèmes à grosses fleurs, ont des capitules moyens ou petits. Le fameux chrysanthème exotique Spider, dit Tokyo, appartient à cette catégorie, et sa vogue assez récente en France est due aux qualités d'une variété peu exigeante. Originaire du Japon dans la région d'Osaka et de Kobé, cette race existait déjà il y a deux cents ans, mais, si les capitules des anciens types présentaient un aspect filiforme, ils étaient bien loin d'avoir la grâce et la légèreté des productions actuelles. Leurs fleurs très originales ont une forme rayonnante aux ligules fines et contournées, et présentent des coloris pastel (blanc, jaune, mauve ou rose).

Les chrysanthèmes « pompons » à petites fleurs, de Chine et du Japon, connus en Europe depuis 1689, le chrysanthème chinois cultivé depuis 1789, le chrysanthème japonais connu des jardiniers depuis 1862, le chrysanthème coréen, plus récent, tous appartiennent à cette même catégorie. Plus rustiques, leurs fleurs sont doubles, les plantes très florifères et buissonnantes.

De race tardive, à fleurs petites, simples, nombreuses, les chrysanthèmes cascades, découverte des Japonais, ont des tiges souples retombant avec élégance comme celles d'un saule pleureur. En automne, placée sur un mur, la cascade fait une retombée de centaines de fleurs. A sa beauté, elle ajoute un léger parfum de miel. Au palais impérial de Tokyo, on peut admirer des cascades de 2,50 m de longueur et de plus de 1 m de diamètre.

La culture des chrysanthèmes réclame des soins particuliers. Ils sont semés dans du terreau léger et tiède en février-mars ; on déplante les pousses à quatre ou cinq feuilles, et on les soumet à des rempotages successifs jusqu'à l'obtention de plantes robustes qui, mises à demeure, devront être taillées et pincées au printemps.

Bavestrelli - Bevilacqua - Prato



***Chrysanthemum coronarium*, une plante aussi rustique que décorative.**

Bavestrelli - Bevilacqua - Prato



Hybrides de chrysanthèmes du Japon à capitule radié.

Mais le point de départ le plus fréquent est constitué de boutures enracinées et livrées en mottes, placées sous châssis dans un endroit bien exposé ou en pleine terre, en terrain fertile ou ensoleillé à 60 cm de distance.

Quand on désire des capitules très grands (de 15 à 20 cm de diamètre), il convient de ne laisser qu'un seul bouton terminal à chaque pied. La sélection du bouton floral s'obtient par la méthode dite de pincement qui consiste à sectionner l'extrémité herbacée de la tige de la bouture au-dessus des cinq à huit premières feuilles bien développées comptées à partir de la base. La plante ne pouvant plus croître en hauteur émet alors des pousses latérales issues de bourgeons latents situés à l'aisselle des feuilles conservées. Cette opération permet d'obtenir sur chaque plant un nombre plus ou moins grand de branches destinées chacune à porter une fleur terminale, et elle détermine la taille des capitules qui deviendront d'autant plus gros qu'ils sont moins nombreux sur chaque pied.

Il est possible de greffer des chrysanthèmes sur des plants vigoureux de Chrysanthemum frutescens, *marguerites à port buissonnant; on obtient ainsi de beaux spécimens très florifères et multicolores.*

La culture en pot donne les plantes les plus régulières, car elle évite tout arrêt de végétation. Dès que les racines commencent à tapisser le pourtour de la motte, on réempote et on assure un drainage parfait. Les chrysanthèmes sont sujets à des maladies dues à l'humidité automnale : on les traite au soufre et à la nicotine contre la rouille.

Nains ou élevés, les chrysanthèmes sont cultivés pour la production des fleurs coupées, mais aussi pour la décoration des jardins, pour orner corbeilles et bordures. Ils sont de toutes couleurs (cependant, la recherche du chrysanthème bleu est restée vaine); peu de plantes ont eu des utilisations aussi originales : au Japon, dont ils sont l'emblème, ils permettent des scènes fleuries extraordinaires : paysages en réduction, scènes mythologiques, combats de lutteurs, etc. Ils sont l'objet de recherches constantes et, en raison de leur épanouissement tardif, ce sont réellement les rois de l'automne.

Des marguerites comme le chrysanthème des jardins et Chrysanthemum coronarium, *à capitules jaunes doubles, proviennent de plantes spontanées répandues dans presque tout le bassin méditerranéen. Le chrysanthème tricolore dont les capitules ressemblent à des cocardes (disque brun, couronne de ligules jaunes, puis roses ou blanches) est une plante annuelle vivace, originaire du Maroc et cultivée chez nous depuis 1796.* Chrysanthemum frutescens, *très proche de la marguerite des prés, est vivace quand on le protège du froid; haut de 1 m, il provient des îles Canaries et a été introduit chez nous peu avant le XVIII[e] siècle.*

LES ASTERS

Les asters comprennent de nombreuses variétés horticoles, des plantes vivaces dont les unes, généralement de taille basse, aux tiges terminées par une fleur unique, s'épanouissent au printemps et en été, et dont les autres, de taille variée mais souvent élevée, fleurissent en bouquets à la fin de l'été et en automne.

Les fleurs semblables à de petites marguerites présentent pour la plupart un cœur jaune d'or.

Trois espèces, toutes trois buissonnantes, sont à retenir : la première, ou œil du Christ (Aster amellus) *a de grandes fleurs bleu violacé à rayons lilas ou roses et fleurit pratiquement sans interruption de juillet à octobre.*

Les deux autres espèces (aster des jardins) et surtout leurs hybrides sont très proches les uns des autres mais diffèrent par la taille de leurs capitules et leurs coloris.

Les asters, plantes rustiques et vivaces, poussent dans tous les terrains et à toutes les expositions. On les multiplie par éclats de touffes faits au printemps et à l'automne : on les changera de place tous les trois ans. Semés en février sur terreau tiède ou en pépinière d'avril à juillet, ils donnent des plantes à transplanter au printemps. Cette méthode est utilisée pour la recherche de variétés nouvelles.

Proches des asters, les érigérons à fleurs orangées, roses ou bleues, légèrement odorantes selon les espèces, apparaissent de mai à septembre. Ce sont des plantes vivaces originaires d'Amérique du Nord, parfaites pour les plates-bandes, les corbeilles ou les rocailles.

La pâquerette (Bellis perennis), *dans sa variété cultivée à capitules doubles, forme des bordures, des corbeilles, et des plates-bandes printanières.*

Semée en juillet-août en pépinière, on la repique avant de la mettre en place en automne ou au printemps. On peut aussi parfois la semer directement sur les lieux de sa floraison.

Les asters, par leur port léger, leur coloris vifs ou tendres et leur robustesse à toute épreuve, sont des fleurs précieuses pour la décoration des jardins et la production de fleurs coupées.

Capitule d'*Aster alpinum*, variété horticole spécialement recommandée pour les jardins d'altitude.



Bavestrelli - Bevilacqua - Prato

LES ANTHURIUMS, LES AMARYLLIS ET LES CLIVIAS

Oiseau des îles, langue de feu, flamand rose, papillon mexicain, tous ces surnoms enchanteurs désignent les anthuriums, plantes exotiques tropicales que l'on cultive en serre sous nos climats.

Les anthuriums appartiennent à la famille des Aracées. Les fleurs ou plutôt les inflorescences sont fort étonnantes, formées d'une spathe cordiforme d'aspect coriace et brillant, de couleur blanche, rose, rouge ou chair. En son centre apparaît le spadice, épi jaune parfois orangé. C'est une plante dont les feuilles, toutes basales, lancéolées ou sagittées, vert luisant, sont d'un bel effet décoratif.

Anthurium scherzerianum, *originaire de Costa Rica et du Guatemala, a été introduit en Europe en 1862.*

*C'est une plante touffue ne dépassant pas 50 cm de hauteur. La silhouette générale s'apparente à une souche d'où émergent des feuilles oblongues ou lancéolées. Les spathes roses, rouges ou blanches, piquetées ou mouchetées selon les variétés, engendrent un spadice souvent spiralé. Il existe plusieurs variétés d'*Anthurium scherzerianum *très faciles à hybrider.*

Anthurium andreanum *a été découvert en Colombie en 1894 par Edmond André auquel il doit son nom. C'est une plante dépassant 1 m de hauteur, à grandes feuilles en forme de cœur, à tiges florales nettement détachées du pied et se terminant par une spathe large d'une dizaine de centimètres. Celle-ci, colorée en rose, rouge ou blanc, est souvent gaufrée et brillante. C'est une curiosité végétale peu commune en raison de sa forme, de sa couleur et de la rigidité du spadice.*

La culture des anthuriums

Belles et délicates, ces plantes aux fleurs irréelles sont parfaitement à l'aise en serre chaude humide reproduisant le mieux possible le climat tropical de leur région d'origine. Il leur faut un sol spécial : parties égales de terreau de châtaignier, humus de forêt homogène, tourbe et racines de polypodes.

Semis, division, bouturage et marcottage des tiges constituent les quatre modes de multiplication possibles des anthuriums.

Le semis s'applique aux deux espèces et à condition d'assurer la pollinisation artificielle en l'absence d'Insectes pollinisateurs. Les anthuriums donnent des graines : celles-ci, récoltées sur les spadices, doivent être semées très rapidement en caisses fermées contenant un mélange à parts égales de sphaigne et de terre de bruyère. Quand les jeunes plants possèdent leurs deux premières feuilles (deux mois après le semis), on les transplante dans de petits pots que l'on remplacera par de plus grands au fur et à mesure de la croissance, qui se termine par la floraison au cours de la troisième année.

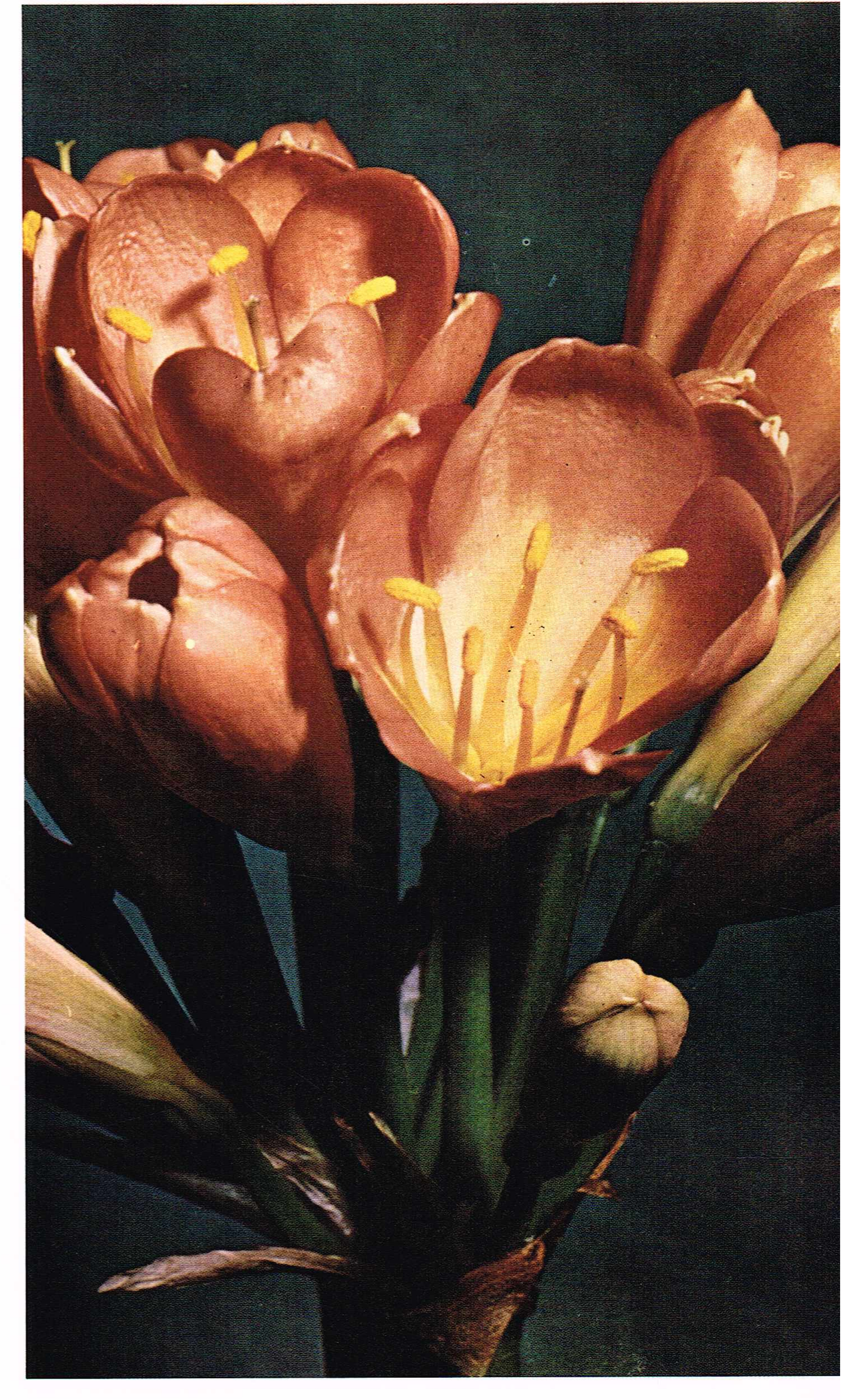
La division des touffes est réservée aux Anthurium scherzerianum *et se fait de préférence au printemps en conservant le maximum de terre et de racines.*

La multiplication des Anthurium andreanum, *qui présentent un petit tronc s'allongeant chaque année, se fait par marcottage et bouturage.*

La culture des anthuriums repose sur trois facteurs importants : une température de 20°, une lumière sans excès et une humidité constante.

Certaines espèces d'anthuriums originaires d'Amérique tropicale sont cultivées pour la beauté de leur feuillage. Alocasia, Caladium, Diefenbachia, *et d'autres encore aux feuilles polychromes, tachetées, piquetées ou veinées, appartiennent tous à la famille des Aracées.*

Bavestrelli - Bevilacqua - Prato



Le *Clivia*, originaire du Cap, est une plante d'appartement très appréciée.



Bavestrelli - Bevilacqua - Prato

Hippeastrum hybridum, **une Amaryllidacée dont la chaude couleur rouge éclaire les feuillages d'hiver.**

La beauté des anthuriums n'a d'égale que celle des orchidées. Ils sont appréciés pour la décoration des serres et la confection des bouquets évoquant la luxuriance et l'originalité de la végétation tropicale. Chaque fleur peut, sur pied, durer plus de deux mois ; dans un vase, trois semaines.

En serre ou en vase, l'anthurium, par son étrange beauté, évoque la luxuriance des tropiques.



Bavestrelli - Bevilacqua - Prato

Bavestrelli - Bevilacqua - Prato

Amaryllis vittatum, **très décoratif avec ses fleurs rouges singulièrement striées de blanc.**

LES AMARYLLIDACÉES

Ce sont des plantes exotiques bulbeuses dont les fleurs rappellent un peu celles des Liliacées.

Les plus belles sont surtout les amaryllidés (genre Amaryllis).

Amaryllis belladonna, *originaire d'Afrique du Sud et introduit en Europe en 1712, est très apprécié. Il pousse en pleine terre dans les régions où l'hiver n'est pas trop rude. La majesté de sa hampe florale haute de 30 à 60 cm, la délicatesse des coloris de ses fleurs (cinq à douze fleurs roses odorantes groupées au sommet) en font assurément la plus belle des bulbeuses d'appartement. Le gros bulbe grisâtre aux tuniques séchées donne habituellement plusieurs hampes florifères.*

C'est une plante rustique, cultivée en pot à partir de jeunes bulbes forcés dans une terre riche (mélange de terreau de feuilles, de fumier et de sable). On arrose quand le bouton apparaît à la partie supérieure du bulbe, et on continuera après la floraison car les feuilles ont besoin d'eau et se chargent comme les racines d'alimenter le bulbe de la saison suivante. On cessera d'arroser en septembre ; le bulbe sera rempoté en décembre ; il lui faut de la lumière et une température douce.

Dès janvier, il est facile de cultiver les amaryllis sur carafe comme les jacinthes.

*D'autres espèces connues sous le nom générique d'*Hippeastrum *sont, semble-t-il, originaires du Pérou. Elles ont de belles fleurs rouges striées de blanc avec une gorge verdâtre. Les fleurs énormes de 12 à 15 cm, odorantes, peuvent être réunies par quatre ou six à l'extrémité d'une forte hampe comme chez* Amaryllis vittatum *(ou amaryllis de Rouen). Écarlates ou saumon avec des taches rouge sang, les* Hippeastrum hybridum *fleurissent tous depuis Noël jusqu'à la fin du mois d'avril.*

D'autres Amaryllidacées comme les Clivia (Clivia miniata), *originaires d'Afrique du Sud, ont des feuilles en lanières, larges de 2 à 4 cm, vert foncé, rayées, retombant à l'extérieur. Du centre des feuilles part une hampe florale droite et raide de 40 cm environ supportant de février à juin un bouquet de dix à vingt grandes fleurs en entonnoir rouge-orangé brillant.*

Les Clivia *sont rustiques et se multiplient par des rejetons naissant au pied de la plante mère. On les cultive dans de l'humus de forêt. Le semis est peu usité.*

Les Clivia *fleurissent de janvier à mars, et leurs fleurs durent trois à quatre semaines. Plantes à végétation continue, les* Clivia *peuvent être gardés plusieurs années et refleurissent chaque hiver si on les maintient dans une pièce fraîche, en pleine lumière au moment de la floraison qui dépend aussi de l'arrosage (réduit à partir de septembre, normal dès qu'apparaissent les boutons floraux).*

Les Clivia *sont des plantes d'appartement par excellence.*

LES FLEURS RUSTIQUES

Sous la dénomination de « fleurs rustiques », les botanistes désignent les plantes qui poussent spontanément, ne nécessitent pas de soins particuliers et s'adaptent aux différents climats et types de sols.

Dans nos régions, elles arrivent à vivre sans que personne les soigne, les arrose, les propage ou les défende contre les froids hivernaux.

Les plantes herbacées forment la partie la plus importante de ces fleurs rustiques, bien que certaines plantes ligneuses arbustives ou buissonnantes puissent être classées dans cette catégorie. On peut voir fréquemment, en se promenant dans la campagne, des fleurs de jardins redevenues sauvages et poussant le long des haies, dans les champs : liserons, rudbeckias, et bien d'autres espèces plus ou moins exotiques d'origine.

Les unes sont vivaces et survivent d'une année sur l'autre grâce à leur partie souterraine (rhizomes, bulbes, racines gorgées de réserves), les autres, biennales ou annuelles, constituent la majorité des espèces les plus rustiques.

Les plantes annuelles accomplissent leur cycle vital entre le printemps et l'hiver, et leurs graines assurent la conservation de l'espèce : de nombreuses plantes sylvestres comme la camomille ou la marguerite sont dans ce cas. Elles sont extrêmement variées tant par leur aspect que par leurs exigences culturales dépendant de leurs origines ; selon qu'elles proviennent d'un climat voisin du nôtre ou au contraire de régions plus chaudes, elles nécessitent plus ou moins de chaleur pendant la première phase de leur végétation.

C'est ainsi qu'on les divise en fleurs annuelles, semi-rustiques et rustiques.

LES PLANTES ANNUELLES

Les espèces annuelles semi-rustiques ont un cycle de végétation court. Pour obtenir une floraison précoce, elles peuvent être semées dès mars sous châssis, dès avril en plein air ou en pépinière bien exposée. La pépinière peut consister en un ensemble de petits pots ou de caissettes, en serre ou en pleine terre, ensemencés d'espèces les plus délicates en automne et rentrés en hiver. Certains semis se font au printemps après les dernières gelées. Il s'écoule en général trois mois entre la date du semis et celle du début de la floraison : cette dernière se prolonge plus ou moins en arrière-saison. Nous trouvons dans cette catégorie capucines, coréopsis, cosmos, gaillardes, giroflées, mufliers, œillets d'Inde, phlox, pois de senteur, tagetes et zinnias.

Les espèces annuelles rustiques dérivent généralement des plantes indigènes et sont parfaitement adaptées à nos climats. Il est possible de les semer dès mars en pleine terre, mais il n'y a pas de période générale de semis.

De la mi-août à la fin de septembre, on sème le souci, le lis, le coquelicot, le rudbeckia et bien d'autres.

De la mi-février à la fin de mars, les achillées, les amarantes, les célosies, les pavots ; en avril-mai, les campanules, les belles de jour, les belles de nuit, les centaurées, les lupins, les ipomées.

Suivant le cas, la floraison débute de huit à douze semaines après le semis, mais elle est souvent plus brève que celle des fleurs annuelles semi-rustiques. La durée de floraison de ces plantes est généralement plus longue sous les climats maritimes humides que dans les régions plus arides du Midi où les fleurs sont brûlées par le soleil.

Bavestrelli - Bevilacqua - Prato



L'abondante floraison estivale des pétunias, cultivar « Satellite ».

Toutes ces fleurs rustiques présentent une gamme étendue de couleurs depuis le rouge de la sauge jusqu'au violet foncé des pétunias et à l'orangé du souci.

Les plantes rustiques bisannuelles sont appelées ainsi car, semées au printemps ou en été, elles fleurissent seulement dans le courant du printemps ou de l'été suivant après avoir passé l'hiver en pleine terre. Cette distinction résulte en général d'un artifice de culture car il s'agit soit d'espèces annuelles traitées pour obtenir une floraison plus précoce, soit d'espèces vivaces dont la végétation est interrompue après leur première floraison, les suivantes étant de moins bonne qualité (pensées, par exemple).

La rusticité varie cependant selon les espèces.

Certaines plantes annuelles ou biennales, bien qu'elles soient rustiques, nécessitent des soins spéciaux. C'est le cas des calcéolaires et des cinéraires, très exigeants pour les arrosages. On sème ces plantes de juin à août dans des caissettes bien ventilées sur terre de bruyère humide sans recouvrir les graines. On repique les jeunes plants lorsqu'ils possèdent deux ou trois feuilles, et ils sont hivernés jusqu'en mars sous châssis froid. Ils seront alors rentrés en serre ou en appartement bien éclairé mais pas trop chaud. On traitera ces plantes avec des produits soufrés contre les parasites cryptogamiques qui provoquent des pourritures en milieu humide, mais aussi à l'aide d'insecticides contre pucerons, mouches, thrips.

LES PLANTES VIVACES

Les plantes rustiques vivaces sont moins délicates, car elles résistent aux rigueurs de l'hiver grâce à leur partie souterraine. Cette perennité est un grand avantage puisque ces espèces sont plantées pour plusieurs années et ne réclament pas d'autre soin que leur défense contre les mauvaises herbes, leur division (en cas d'espèces trop envahissantes) et éventuellement une fertilisation annuelle.

Ces plantes sont très diverses tant par leur aspect que par leur période de floraison; les jardins s'ornent ainsi de chrysanthèmes, d'asters, de delphiniums, etc. Toutes ces plantes à fleurs rustiques doivent être plantées ou semées dans des sols sains, pas trop humides, à sous-sol perméable et à exposition de préférence ensoleillée. Dans nos jardins, on en compte une centaine d'espèces et de variétés parmi les plus communes.



Bavestrelli - Bevilacqua - Prato

Des fleurs à la forme singulière, les calcéolaires.

Elles présentent des avantages certains : leur floraison est continue de mars à septembre et leurs couleurs très variées. Les pétunias offrent une gamme allant du blanc au rose, du carmin au pourpre foncé et jusqu'au violet vif, à l'exception du jaune d'or.

Les verveines, largement utilisées pour la décoration des jardins publics, ont des coloris intenses et variés pendant toute la belle saison. L'agérate est violette, les célosies jaunes ou pourprées, les capucines vont du rose au bleu, et les tagetes unicolores ou bicolores offrent une palette du jaune à l'orangé et jusqu'au pourpre brunâtre.

Ces fleurs appartiennent à de nombreuses familles botaniques : les Composées en forment la majeure partie, suivies des Renonculacées, des Crucifères, des Violacées, des Boraginées, etc.

Si l'on aime les jardins sauvages à qui l'on consacre peu de temps, les gros bouquets de fleurs plantées sans façon, on peut réaliser avec succès la culture des fleurs rustiques. Elles orneront avec bonheur parterres, bordures et massifs, tous de vives couleurs.



Bavestrelli - Bevilacqua - Prato

Avec leurs élégantes hampes florales, les lupins se prêtent admirablement à la décoration des corbeilles.



Bavestrelli - Bevilacqua - Prato

Tache de gazania, petite plante vivace de la famille des Composées, poussant au ras du sol.

LES AZALÉES ET LES RHODODENDRONS

Bavestrelli - Bevilacqua - Prato

Si le mot rhododendron éveille pour le jardinier l'image précise d'un bel arbuste bien distinct des azalées, il n'en est pas de même dans l'esprit des botanistes qui ne savent pas où finissent les rhododendrons et où commencent les azalées. Leur plus nette différence réside seulement dans le nombre des étamines (dix chez les premiers, cinq chez les secondes), caractère insuffisant pour singulariser ces deux sortes d'arbustes. Ces deux espèces sont donc réunies et ne forment plus qu'un seul et même genre : le genre Rhododendron, *famille des Éricacées.*

Botaniquement, le genre est très important : il comprend près de cinq cents espèces, largement dispersées dans les régions montagneuses de l'Amérique du Nord et de l'Europe, en Asie, surtout en Himalaya, en Chine et au Japon, et même en Nouvelle-Guinée. En France, on rencontre Rhododendron ferrugineum *dans les Pyrénées, le Jura et les Alpes où on l'appelle le « laurier-rose des Alpes »; avec leurs feuilles vertes et luisantes dessus, ferrugineuses en dessous, ils embellissent de leurs buissons et de leurs branches tordues les pentes alpines où habitent les mélèzes et les pins. On y trouve aussi* Rhododendron hirsutum, *à feuilles ciliées au bord et non ferrugineuses en dessous.*

Ces deux espèces indigènes, rustiques, ne se cultivent aisément que dans les jardins alpins sous des climats appropriés.

Azalées et rhododendrons sont des arbustes buissonnants au port très décoratif, au feuillage persistant, aux grandes fleurs blanches ou colorées, en inflorescences terminales.

L'ancêtre de ces plantes est Rhododendron indicum *ou* Azalea indica, *introduit de Chine en 1810 : en Belgique où il est cultivé intensivement, il représente une véritable industrie.*

Des variétés intéressantes sont apparues dès 1750 jusqu'en 1810, comme Rhododendron arboreum *arborescent et provenant de l'Himalaya ; ou d'autres, originaires du Népal et d'Asie Mineure.*

L'étude de toutes les espèces de rhododendrons n'est permise qu'aux spécialistes et il suffit aux jardiniers de connaître les rhododendrons hybrides, les seuls qui soient utilisés pour la décoration des parcs, et qui proviennent presque tous de croisements faits entre quatre espèces : Rhododendron ponticum, R. caucasicum, R. catawbiense *et* R. griffithianum.

L'espèce Rhododendron hybridum, *qui comprend la majeure partie de nos belles azalées, est très artificielle et possède des fleurs allant du blanc pur au rose, au rouge écarlate, du lilas pâle au pourpre : on en obtient maintenant des fleurs à la corolle campanulée, au limbe plus ouvert, en inflorescences en grappes. Ces arbustes à feuillage persistant, plantés dans un sol et sous un climat qui leur convient, prennent d'importantes proportions, comme les rhododendrons d'Isola Madre, sur le lac Majeur, qui atteignent 10 m de hauteur. En France, le parc de Châteauneuf-sur-Loire est réputé pour son sous-bois de rhododendrons.*

Le Rhododendron ponticum *ou rose alpine de la mer Noire est cultivé chez nous depuis 1763. Ses feuilles coriaces rappellent celles du laurier-cerise et ses fleurs sont typiquement lilas foncé ; il a donné naissance à de nombreuses variétés aux couleurs et aux formes décoratives.*

Le Rhododendron maximum *ou rhododendron élevé d'origine nord-américaine, cultivé en Europe depuis 1738, est une espèce robuste poussant facilement. De grande*

Arbustes très décoratifs, les rhododendrons appartiennent à la même famille que les azalées.

Bavestrelli - Bevilacqua - Prato



De nombreuses variétés de rhododendrons hybrides présentent des fleurs exceptionnellement riches.

taille à l'état spontané (9 à 12 m), le bois de ses tiges, dur et lourd, sert à faire des manches d'outils. Ses fleurs sont toujours grandes et campanulées.

A côté des rhododendrons hybrides à floraison riche et opulente, il existe d'autres espèces naines ou de taille moyenne présentant des caractères décoratifs différents et très attrayants. A quelques exceptions près, leur feuillage est persistant : ils possèdent des rameaux plus ramifiés, des feuilles et des fleurs plus petites marquant une ressemblance avec les azalées classiques.

Les rhododendrons demi-nains peuvent atteindre 1 m à 1,50 m, mais, pour qu'ils parviennent à cette hauteur, leur croissance nécessite une douzaine d'années. C'est le cas de Rhododendron praecox, *demi-persistant, aux fleurs lilas rose qui s'épanouissent au début de mars.*

Certains rhododendrons lilliputiens dont la taille n'excède pas 50 cm sont par excellence des arbustes de rocaille.

Les azalées sont peu différentes des rhododendrons ; de taille plus faible, elles ont des variétés à fleurs jaunes ou dorées comme Rhododendron kosterianum, *hybride originaire de Chine, et* Rhododendron flavum, *originaire de Galicie. Odorantes, certaines ont des feuilles caduques, d'autres persistantes en hiver comme l'ensemble des azalées japonaises. L'azalée asiatique, à feuilles de romarin, possède des fleurs blanches ou violettes.*

LA CULTURE DES RHODODENDRONS

Rhododendrons et azalées ont des exigences de culture peu nombreuses mais impérieuses. Ils ont besoin d'un sol acide, non calcaire et frais, avec de l'humus de châtaignier et du sable. Ce sont des plantes de terre de bruyère. Il leur faut aussi de l'air humide pas trop chaud car, comme toutes les plantes d'ombre ou de demi-ombre, ces arbrisseaux aiment l'humidité. Ils fleurissent mieux cependant dans une ombre légère ou en plein soleil, mais ils redoutent avant tout la sécheresse de l'air et du sol. Le climat méditerranéen leur convient peu, la grande chaleur provoquant la chute des feuilles.

Trop d'arrosages sont cependant nuisibles aux boutons qui se forment mal, mûrissent mal ou avortent.

Rhododendrons et azalées se reproduisent si l'on enterre les courts rejetons émis au moment de la floraison.

Les jeunes bourgeons doivent être plantés en pot dans un terreau léger et frais, et ces boutures doivent rester en place un peu plus de deux semaines. Celles-ci, avec leurs premières racines, seront progressivement dégagées pour être prêtes au printemps à la mise en pleine terre.

Certains rhododendrons, comme Rhododendron ponticum, *sont issus de semis, d'autres se multiplient par greffage.*

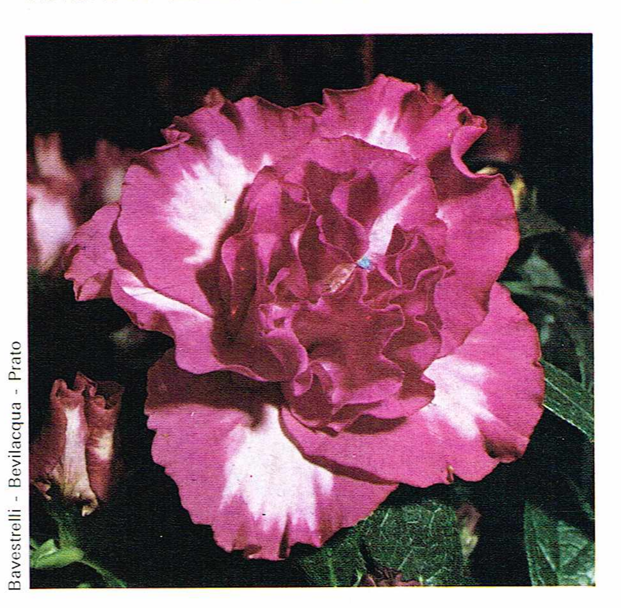
Les rhododendrons se plantent en toute saison sauf pendant la floraison ; cependant l'époque la plus favorable est la fin de septembre. Ils ne se taillent que dans deux cas : lorsqu'on veut les maintenir dans une forme donnée ou lorsqu'on désire favoriser le départ de rameaux plus vigoureux. Il faut enlever les fleurs fanées après éclosion.

L'azalée en pot est par excellence le cadeau de début d'année. Les floriculteurs français importent, de Belgique ou de Hollande, les jeunes plants déjà prêts pour le forçage qui se fait de janvier à avril. Dans les jardins, ces magnifiques plantes, par la splendeur de leur floraison, méritent d'être souvent employées pour décorer les massifs et border les allées. Au printemps, leurs fleurs, aux délicatesses d'orchidées, durent facilement un mois.

La gamme des couleurs permet de composer des massifs éclatants.

Bavestrelli - Bevilacqua - Prato

Les hybridations ont donné naissance à des fleurs bicolores délicatement tachetées.



Bavestrelli - Bevilacqua - Prato

LES ROSACÉES ORNEMENTALES

Parmi toutes les familles de plantes, les Conifères, les Composées, les Papilionacées et les Rosacées sont celles qui ont été le plus utilisées du point de vue ornemental. Mais, alors que les Conifères sont tous ligneux et que les Composées sont à peu près uniquement des herbes sous nos climats, les Papilionacées et les Rosacées ornementales comprennent aussi bien des herbacées que des arbustes buissonnants et même des arbres proprement dits.

Nous nous limiterons ici à de brèves notions sur les Rosacées, car elles sont plus nombreuses que les Papilionacées, mais plus gracieuses aussi, avec leur floraison dense et délicatement nuancée.

Parmi celles-ci, les Prunus *printaniers désignent à la fois pruniers et cerisiers à fleurs.*

Le Prunus serrulata *ou cerisier du Japon a des feuilles dentées et d'abondantes fleurs roses doubles aux pétales étroits. C'est un arbrisseau de 5 m de hauteur originaire de Chine, du Japon ou de Corée et introduit en Europe il y a longtemps. Les plus beaux cerisiers poussent à l'état sauvage au pays du soleil levant. Depuis des générations, les Japonais en ornent leurs temples, leurs villes et leurs jardins. D'abord emblème des samouraïs, la fleur du cerisier est devenue rapidement une des fleurs nationales du Japon : aussi les empereurs décrètent-ils la fête nationale le jour du plein épanouissement des cerisiers.*

Prunus triloba *se rapproche plutôt de l'amandier ou du pêcher; il est appelé aussi prunier de Chine, d'où il est originaire. Ses feuilles trilobées, dentées, ses fleurs roses, doubles, aux corolles arrondies, ou blanches sont très recherchées. D'autres variétés de pruniers et de cerisiers servent également à décorer les jardins : chaque année, ces arbres annoncent le vrai printemps; ils ont leur place partout : l'utilisation la plus classique est d'en border une allée et de planter un sujet pleureur à proximité d'une pièce d'eau.*

Les pommiers d'ornement s'épanouissent après les cerisiers du Japon. Ce sont des Pomoïdés à fleurs blanches et simples sous leur forme naturelle. Malus floribunda *est un arbre de 6 à 10 m de haut à cime étalée et ramure ployée. Les fleurs carminées en boutons, puis rose pâle, sont suivies de petites baies rouge et jaune. Par leur prodigieuse floraison printanière, par leur brillante fructification qui persiste souvent au-delà de la chute des feuilles, et pour certains par leur feuillage coloré, ces pommiers sont parmi les arbres les plus décoratifs dont on puisse garnir un parc. Leur taille moyenne permet de les planter même dans les plus petits jardins.*

Mais de tous les arbres à floraison printanière, le plus connu reste le cognassier du Japon (ou Chaenomeles japonica*). Hauts de 1,50 à 2 m, ses rameaux épineux raides et étalés, aux feuilles ovales, luisantes et finement dentées, portent des fleurs nombreuses en ombrelles pendantes, carminées à l'extérieur et blanches à l'intérieur; elles précèdent l'apparition des feuilles. Connu dans nos jardins depuis 1815 et originaire du Japon, il a donné de nombreux cultivars dont certains à fleurs doubles.*

Tous ces arbres ornementaux sont très rustiques et se reproduisent par marcottage ou par greffage. Les Prunus *sont greffés sur le prunier Saint-Julien qui sert de sujet en arboriculture fruitière parce qu'il est de vigueur modérée et d'enracinement abondant.*

On peut les bouturer (les boutures repiquées à la fin de mars mettent trois à quatre semaines à s'enraciner). Toutes ces espèces peuvent être taillées après floraison.

Tout le monde connaît l'aubépine, ses abondantes

Bavestrelli - Bevilacqua - Prato



Le *Prunus serrulata*, ou cerisier du Japon, est considéré comme le plus bel arbuste à fleurs.


Bavestrelli - Bevilacqua - Prato

Détail d'un rameau en fleur de *Prunus triloba.*


Bavestrelli - Bevilacqua - Prato

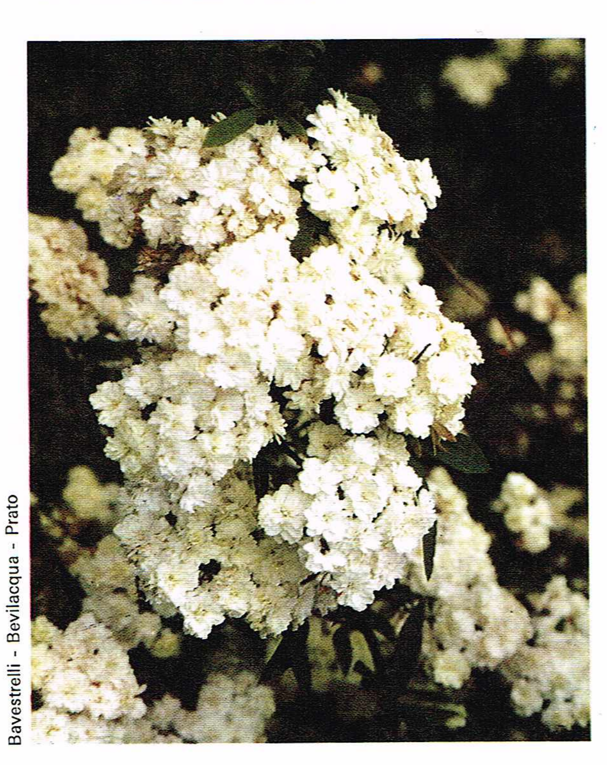
Gros plan sur des fleurs doubles de *Prunus serrulata.*

petites fleurs blanches à odeur de miel, et ses innombrables baies écarlates qui égaient les haies à l'automne. Décorative par son beau feuillage, l'aubépine épineuse de nos campagnes a donné des variétés ornementales à fleurs simples ou doubles.

Les buissons ardents ou Pyracantha, *botaniquement très voisins de l'aubépine, en diffèrent par leur feuillage persistant et par leurs exigences culturales : ils prospèrent dans des sols moins calcaires. Leurs fruits en forme de pois rouges brillants persistent tout l'hiver.*

Ils forment avec les Cotoneaster *ou cotonniers les espèces de base de toute plantation d'arbustes. Ceux-ci comportent de très nombreuses espèces d'arbustes extrêmement divers par leur taille, leur port, leur aspect et qui s'adaptent en conséquence à des usages très variés. Leur seul point commun est de porter en automne des baies brillamment colorées de rouge et d'orangé persistant plus ou moins longtemps en hiver.*

Proches des aubépines, les spirées se couvrent de fleurs blanches dès le mois de mai.


Bavestrelli - Bevilacqua - Prato

Le plus populaire est Cotoneaster horizontalis, *originaire de Chine, au port très caractéristique, rampant, aux branches principales horizontales avec de fins rameaux qui s'appuient à terre. Leurs petites feuilles coriaces et caduques prennent avant de tomber une belle couleur jaune, puis rouge.*

D'autres Cotoneaster *(dont le nom botanique est passé dans le langage courant) ont un port dressé et un feuillage persistant en hiver : c'est le cas du cotoneaster à feuilles de saule aux grandes feuilles lancéolées, introduit en Europe au début du XXe siècle : c'est un arbrisseau puissant, à la floraison insignifiante mais aux fruits globuleux brillants et hivernaux. Cette variété agrémente les jardins de rocaille qu'elle recouvre de ses longues branches étalées, et peut garnir également des murets ou des haies.*

D'autres Cotoneaster *de moyenne ou de petite taille perdent en partie leur feuillage en hiver, comme* Cotoneaster dielsiana, *à fruits écarlates, ou* Cotoneaster francheti, *originaire du Thibet : il donne en mai-juin de petites fleurs roses auxquelles succèdent des fruits ovoïdes orange. Très répandues dans les jardins, ces deux espèces s'intègrent aux massifs d'arbustes mais peuvent aussi constituer des haies taillées.*

Tous ces Cotoneaster *comptent parmi les plus jolis arbrisseaux à fruits qu'ils produisent à profusion. Par la variété de leur forme, de leur taille et de leur vigueur, ils conviennent à des emplois multiples.*

Proches parents des aubépines avec lesquelles on les confond souvent, les spirées sont des arbustes buissonnants soit nains, soit plus élevés, à fleurs roses et blanches.

La plus répandue des spirées de printemps est la spirée de Van Houtte de 1,50 m qui se couvre au début de mai d'innombrables bouquets de fleurs blanches espacées les unes des autres sur les rameaux. La spirée japonica porte des fleurs roses et a donné de nombreux hybrides de floraison estivale. Une autre spirée d'été assez populaire est la spirée de Douglas qui forme des touffes de 1,50 m aux rameaux raides et dressés terminés en juillet-août par des épis serrés de petites fleurs roses.

Tous ces arbustes poussent bien dans un sol sec, sablonneux et peu caillouteux. Ils supportent bien l'ombre, mais fleurissent plus abondamment s'ils sont exposés au soleil. On les reproduit par semis, mais mieux encore par marcotte, par bouture ou par division de touffes. Ils possèdent la propriété de drageonner, c'est-à-dire de développer rapidement leurs racines, et peuvent ainsi fixer des talus. On les taille chaque année après floraison pour obtenir le maximum d'effet.

Il existe bien d'autres Rosacées ornementales qui, herbacées comme les potentilles ou les fraisiers, sont cultivées pour former massifs ou bordures. Mais, dans leur majorité, les Rosacées sont arbustives et, par leur facilité d'adaptation et leur floraison hâtive, elles rendent grand service au créateur d'un jardin.

LES ARBUSTES A FLEURS

Les arbustes à fleurs occupent une place importante dans l'aménagement d'un jardin car ils en constituent la structure.

Parmi les plus remarquables de ces arbustes, nous pouvons choisir les glycines, plantes grimpantes sarmenteuses d'une vigueur exceptionnelle, odorantes et aux fleurs en grappe. Elles appartiennent à la famille des Papilionacées caractérisées par des fleurs irrégulières lavande clair à large étendard et au feuillage vert doré à l'époque de la floraison. La plus cultivée est la glycine de Chine (Wistaria sinensis) *introduite dans nos pays depuis 1825 : elle a supplanté la glycine d'Amérique connue en France depuis 1724, mais moins vigoureuse.*

La glycine de Chine est capable de couvrir de grandes surfaces de mur ou de garnir des grilles ou des façades en de longues guirlandes ; ses rameaux croissent annuellement de plusieurs mètres, s'entrelacent et s'enroulent autour des supports qui s'offrent à eux. Elle est douée d'une grande longévité, de l'ordre d'un siècle. Les fleurs en grappe s'épanouissent presque toutes en même temps et font un effet de masse des plus heureux.

La glycine du Japon est voisine de la précédente, mais ses fleurs s'épanouissent successivement et sont dépourvues de parfum. Ces deux espèces offrent des coloris roses ou blancs.

La culture des glycines est facile. Ces plantes se contentent de tous les sols (elles préfèrent cependant des sols frais et légers) et fleurissent bien en situation ensoleillée. On les reproduit difficilement par semis ; elles sont surtout propagées par bouturage ou marcottage. En mars ou en juillet, on couche les rameaux d'un an dans le sol ; l'enracinement est rapide, mais les plants doivent être cultivés plusieurs années en pots pour former des sujets convenables propres aux plantations. La taille des glycines est indispensable, sinon elles pousseraient de façon désordonnée au détriment de la floraison. On peut aussi les forcer en serre.

A côté des glycines grimpantes, il existe un certain nombre d'arbustes rampants à port de lianes, tel le jasmin de Virginie (Bignonia radicans) *: ce nom a le mérite de rappeler le souvenir de l'abbé Jean-Paul Bignon, bibliothécaire de Louis XIV, qui le fit connaître.*

C'est une liane rugueuse pouvant atteindre 15 à 20 m de longueur, originaire d'Amérique du Nord et très répandue dans nos régions depuis 1640. Ses fleurs sont groupées par deux à cinq à l'aisselle de feuilles persistantes ; l'extérieur est rouge-orangé, l'intérieur jaune à corolles tubuleuses en forme de trompettes. Cette bignone résiste bien aux hivers du Sud-Ouest et préfère les situations abritées et les expositions ensoleillées. Elle ne redoute pas la sécheresse.

Les bignones se reproduisent par tronçons de racines par bouture ou par greffage pour les différentes variétés.

Pour tapisser un mur ou garnir des treillages, le chèvrefeuille est une plante frugale et solide. Cet arbuste aux rameaux volubiles pouvant atteindre 4 à 5 m se caractérise par ses feuilles caduques, ovales, et des fleurs très odorantes, tubuleuses, jaunes à l'intérieur, rouges à l'extérieur, qui sont remplacées par de petites baies rouges translucides et décoratives en fin d'été. Cette plante, qui existe à l'état sauvage, se propage facilement par bouturage et marcottage à l'aide de ses rameaux adventifs et radicants.

Les clématites, plantes rampantes peu lignifiées, s'imposent par leurs grandes fleurs et comprennent de nombreuses espèces que l'on peut diviser en clématites à grandes fleurs et à petites fleurs, différentes par leur végétation et la qualité de leur floraison.

Issues d'espèces exotiques originaires d'Extrême-Orient et du bassin méditerranéen, les premières atteignent dans certaines variétés 15 à 18 cm de diamètre et leurs coloris riches en bleu et en violet s'étendent du blanc au rouge carmin ; elles fleurissent de mai à octobre.

Bavestrelli - Bevilacqua - Prato



L'*Hibiscus syriacus* présente une corolle très large avec des tâches pourpres à l'onglet de ses pétales.



La glycine, plante grimpante et sarmenteuse, aux fleurs en grappe bleu-violet clair, est cultivée en Europe pour sa floraison abondante et parfumée.

Le lilas *(Syringa vulgaris)* est un arbuste superbe à panicules de petites fleurs odorantes, blanches ou mauves, qui fleurit au printemps.



Elles se prêtent à de nombreuses utilisations : arcades de fleurs sur pergolas et arceaux, décoration de murs, de grilles, etc., car elles se fixent naturellement aux supports.

A petites fleurs, elles sont plus vigoureuses et couvrent des surfaces parfois étendues de leur belle floraison printanière. Elles aiment les sols siliceux, frais, bien drainés.

Par leur éclat, l'abondance et la durée de leur floraison, les clématites sont les plus belles lianes d'ornement.

Très répandues sur la Côte d'Azur et la Riviera, les bougainvillées couvrent les murs d'épaisses tentures mauves, mêlées parfois aux géraniums-lierres. Leurs fleurs (en fait les bractées florales) larges, ovales, lancéolées de couleur lilas, tranchent sur un feuillage vert vif. Ils sont les compléments du jasmin blanc commun, arbuste grimpant à rameaux verts et lisses et aux fleurs odorantes qui embellit les murs ensoleillés de juin à septembre.

Presque tous les jardins comportent du lilas. En effet, on aime retrouver dès le printemps leurs grappes à fleurs parfumées qui annoncent de façon définitive le retour des beaux jours. Le lilas commun à odorantes panicules de petites fleurs en croix mauves ou blanches est si répandu qu'on pourrait le croire indigène : il se propage spontanément par ses drageons et ses graines. Originaire des Balkans, il pousse à l'état sauvage dans les montagnes de Bulgarie.

On se sert parfois du lilas pour constituer des haies. La durée de la floraison n'excédant pas quinze jours, on a multiplié les hybrides et les espèces voisines afin d'obtenir des races doubles et refleurissantes. Ce sont de superbes arbustes souvent cultivés en touffes très précieux dans les petits jardins. Les fleuristes vendent souvent à contre-saison des plantes forcées.

Les forsythias ou mimosas de Paris se couvrent dès février-mars d'une multitude de fleurs jaunes avant même que leurs rameaux aient des feuilles. Ce sont pratiquement les premiers arbustes à fleurir sous le climat parisien. On peut les faire épanouir dans une pièce chauffée en mettant les rameaux aux boutons gonflés dans de l'eau.

Bien taillés, les troènes trouvent un emploi idéal dans la création des haies. Leur feuillage est pratiquement persistant et, comme le lilas et le forsythia, ils appartiennent à la famille des Oléacées.

Bien d'autres arbustes à fleurs ornent nos jardins : des Rosacées (cotoneasters, prunus, spirées, pivoines), des Saxifragacées (groseilliers à fleurs), dont l'hortensia, qui est le plus connu et contribue à la beauté des jardins de la côte atlantique. Il est d'introduction relativement récente ; il a été importé de Chine en 1896.

C'est une plante calcifuge qui aime un sol sain, perméable et frais, riche en humus. Il préfère l'air humide et la lumière atténuée, se plaisant dans les climats maritimes. Cette masse colorée terminant chaque branche n'est en réalité qu'un rassemblement de fleurs stériles, décoratives, mais impropres à la fécondation. Les variétés d'hortensias sont donc multipliées par bouturage de terminaisons herbacées — en serre — de février à juin qui donneront l'année suivante, après pincement, des plantes fortes et multiples ou uniques selon la date du bouturage. Les hortensias sont roses ou blancs. La couleur bleue est obtenue à partir de variétés roses lorsque le sol contient des sels d'aluminium ou lorsqu'on les arrose avec une petite quantité d'eau additionnée de sulfate de fer.

La durée exceptionnelle de la floraison des hortensias en fait un décor idéal pour les appartements ou les massifs rustiques.

Les hibiscus, tous originaires de l'est de l'Asie, sont deux espèces cultivées : l'une, l'hibiscus proprement dit ou althéa, arbuste dressé au port pyramidal, aux fleurs passant du jaune doré au blanc et au rose lilas, est une espèce rustique de sol calcaire aimant les expositions ensoleillées où il s'épanouit en été et en automne ; la seconde ou rose de Chine a des fleurs rouge vif et forme des haies taillées dans les pays méditerranéens. En Polynésie, ils fleurissent toute l'année et sont d'une infinie variété. Sous nos climats, c'est une plante de serre facile à cultiver dans un mélange de terre de bruyère et de terreau de feuilles qui accueillera les boutures de rameaux demi-lignifiés.

LES PLANTES GRASSES

Extraordinaires exemples d'adaptation du monde végétal aux rigueurs des régions de type semi-désertique, les Cactées, nommées plus communément plantes grasses, ces « Végétaux d'une autre planète » ainsi qu'on les appelle parfois, ont acquis, afin de pouvoir survivre, des formes étonnantes et caractéristiques dues à la disparition des feuilles pour réduire la perte d'eau.

Leur introduction en Europe débute au XVIe siècle, mais leur culture ne se généralisa qu'un peu plus tard. Attachante à plus d'un titre, cette famille qui renferme 2 700 espèces environ et dont la présence sur terre est relativement récente, compte parmi les plus riches. Outre leur rôle décoratif, leurs ressources sont multiples : dans certains pays déshérités, elles jouent un grand rôle dans l'alimentation des populations, elles procurent du fourrage, des engrais, du bois de construction et de chauffage, des fibres laineuses et sont même utilisées en médecine. De plus, les Cactées agissent comme « colonisateurs » des régions arides : grâce à la frugalité de leurs besoins, elles préparent le terrain à des espèces plus exigeantes.

Elles sont d'origine américaine (de part et d'autre des tropiques) et leur aire de répartition commence au Canada et se prolonge jusqu'à la Patagonie. Certaines espèces offrent une grande résistance à la chaleur (plus de 60°) ou au froid (— 50°).

Ces plantes grasses appartiennent à des familles variées, et seuls leurs exigences et leur mode de vie (résister à la sécheresse) les font rassembler sous ce terme général quelquefois remplacé par celui de plantes succulentes qui rappelle l'eau mise en réserve dans leurs organes vitaux.

Elles présentent parfois des formes très bizarres, et le paysage, le climat, la nature du sol, la latitude influent beaucoup sur la transformation de certains organes végétaux : leur épiderme épaissi est souvent couvert d'épines, de poils, de cire; des individus de familles et d'ordres différents présentent des formes convergentes.

Les Cactacées sont un groupe très important (plus de 2 000 espèces) dont la moitié est représentée dans les collections européennes.

Elles ont toutes les formes possibles depuis les puissantes colonnes simples ou ramifiées de plus de 10 m, cierges, figures indissociables des westerns et des déserts américains, jusqu'aux boules de toutes tailles des Echinocactus. *En buissons de rameaux, aplatis ou ovales, nous trouvons les* Opuntia *largement cultivés avec le figuier de Barbarie aux feuilles cylindriques tombant rapidement; leurs épines à harpons s'attachent aux doigts fort désagréablement.*

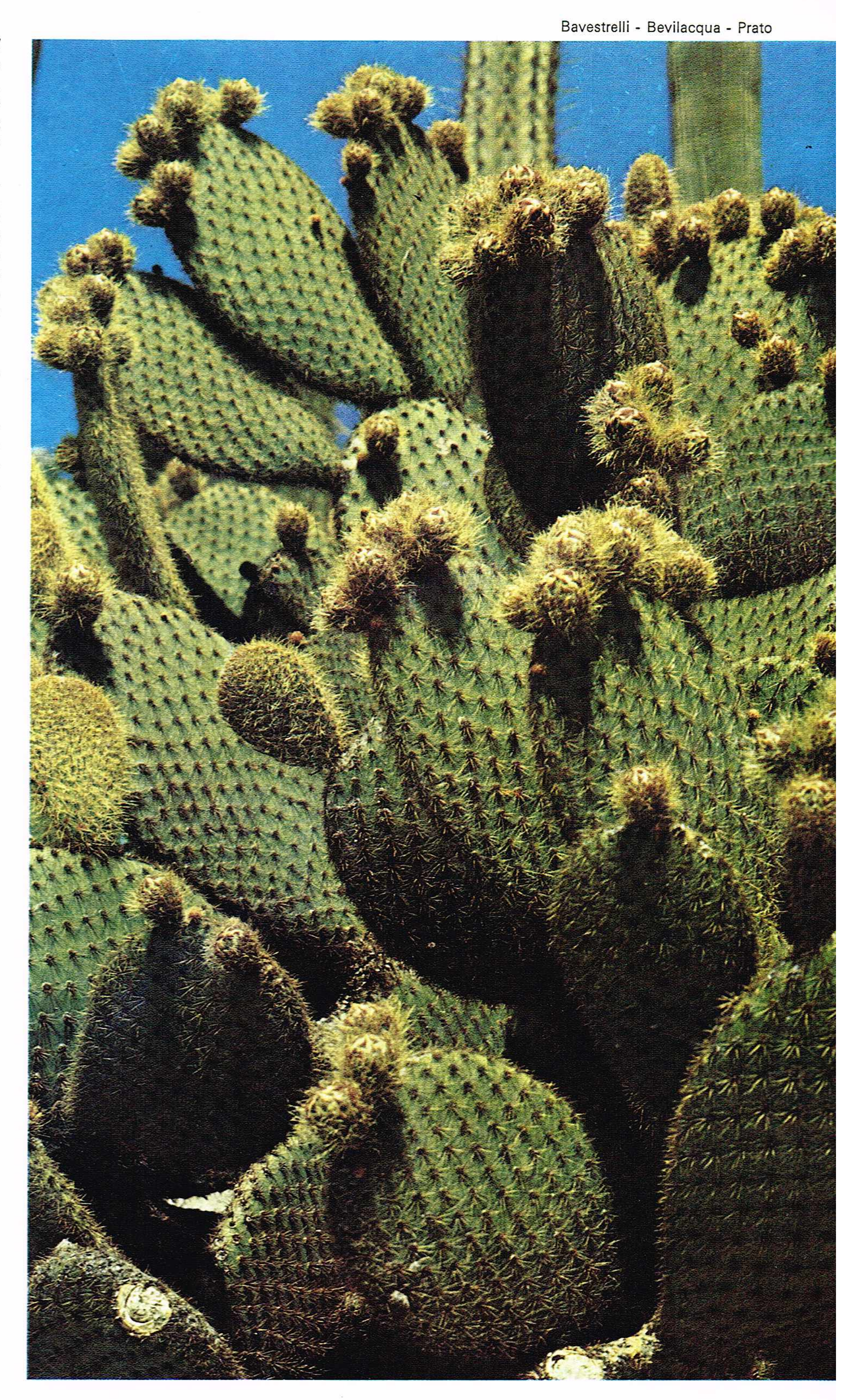
Les Echinocactus *en forme de globes et les* Mamillaria *cylindriques ou sphériques, à sève laiteuse et aux vertus hallucinogènes, sont de petite taille.*

Plantes à tiges plates et à bords crénelés, très florifères, les Epiphyllum *vivent dans la nature en épiphytes à la manière des orchidées. Leurs fleurs de multiples couleurs s'ouvrent la nuit.*

Toutes ces Cactées possèdent des organes particuliers appelés aréoles : ce sont des sortes de dépressions de la tige, souvent placées à l'extrémité d'une protubérance, remplies de laine courte, blanchâtre ou grisâtre, et d'où sortent les épines, les branches et les fleurs. Celles-ci, qui peuvent être rouges, violacées, roses, jaunes ou vertes mais jamais bleues, généralement très belles, sont directement attachées à la plante.

Il existe, en dehors des Cactées, des familles de plantes grasses, telles les Euphorbiacées, les Crassulacées, les Agavacées et bien d'autres.

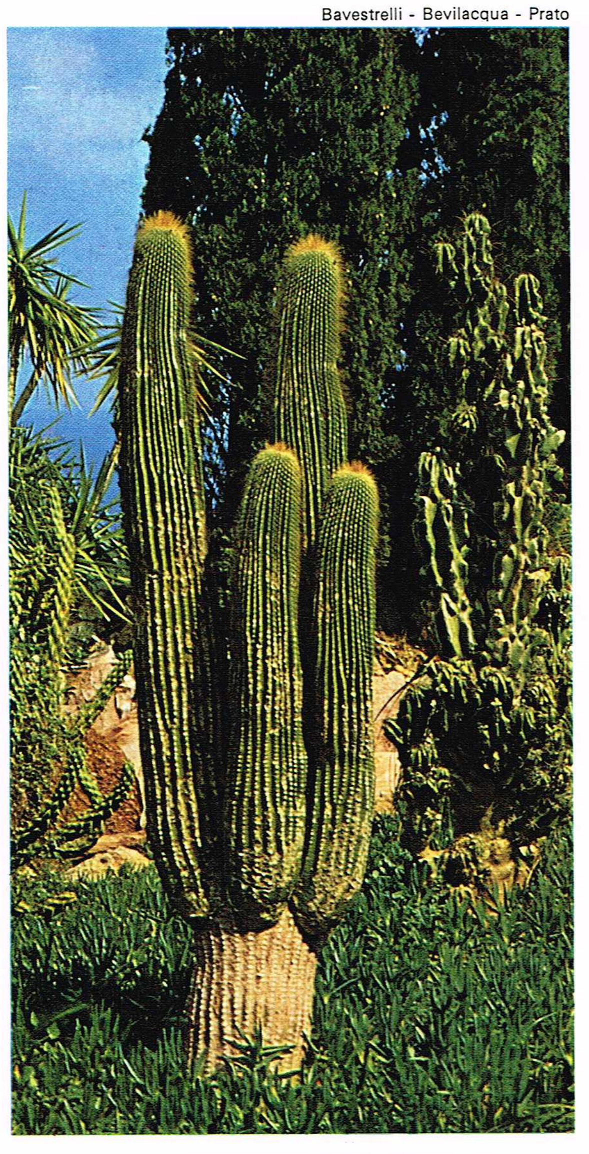
Bavestrelli - Bevilacqua - Prato

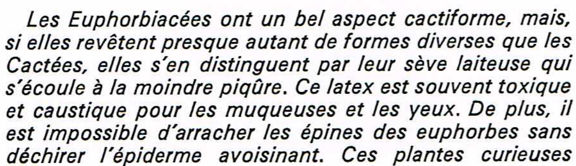


Le genre *Opuntia*, communément appelé figuier de Barbarie, appartient à la famille des Cactacées.

▶ Les ***Cereus*** **sont des plantes à suc, vivaces, à l'aspect élancé, souvent en forme de gigantesques candélabres.**

Bavestrelli - Bevilacqua - Prato





Les Euphorbiacées ont un bel aspect cactiforme, mais, si elles revêtent presque autant de formes diverses que les Cactées, elles s'en distinguent par leur sève laiteuse qui s'écoule à la moindre piqûre. Ce latex est souvent toxique et caustique pour les muqueuses et les yeux. De plus, il est impossible d'arracher les épines des euphorbes sans déchirer l'épiderme avoisinant. Ces plantes curieuses d'origine africaine ont des tiges quadrangulaires et sont surtout représentées par Euphorbia resinifera *qui forme des touffes importantes connues pour la gomme-résine que l'on tire de son latex coagulé, et* Euphorbia splendens, *plante ornementale à vastes bractées florales rouges.*

Les fleurs des euphorbes, à l'opposé de celles des Cactées, ont des pédoncules floraux, sont insignifiantes mais présentent une attraction certaine vis-à-vis des Insectes. Ces pédoncules desséchés deviennent ornementaux en se tordant, se ramifiant, après la floraison.

De nombreux représentants de la famille des Crassulacées se trouvent à l'état spontané dans la flore française. tels les sedums et la joubarbe. Ils se défendent de la sécheresse par leurs feuilles très charnues réunies en rosettes et réparties le long de la tige. Leurs fleurs en étoiles, jaunes, blanches ou roses forment des groupes plus ou moins denses. Les Kalanchoe *et* Echeveria *ont des fleurs en clochettes rouges, roses, mélangées de jaune.*

Les ficoïdes sont des plantes d'aspect variable de la famille des Aïzoacées aux fleurs à nombreux pétales étroits et longs, de toutes teintes. Elles affleurent entre les pierres avec lesquelles elles se confondent par mimétisme, se révélant seulement par leurs fleurs.

Enfin, il ne faut pas oublier les Agavacées dont l'agave méditerranéenne, qui fleurit une fois, est le représentant le plus caractéristique, et le Sanseveria, *aux feuilles rubanées et coriaces, vert olive, zonées de blanc, qui ornent les appartements. Ajoutons-y les aloès très adaptés à la culture en serre.*

Toutes ces variétés font de remarquables jardins exotiques en plein air, sous les climats qui le permettent (comme à Monaco), ou bien en serre, en recréant leurs conditions d'origine.

LA CULTURE DES PLANTES GRASSES

Pour obtenir des résultats durables, quelques règles essentielles sont à respecter : les plantes grasses ont besoin d'eau, bien que leur croissance dans des lieux naturellement secs les rende peu exigeantes. Dans les appartements très chauffés, on se contentera de les arroser en évitant l'humidité stagnante, grande ennemie de toutes les plantes grasses car elle provoque leur pourriture. Un sol poreux, mêlé à de la terre de jardin et à du terreau de feuilles mélangé à du sable, combat cet inconvénient.

Leur place préférée sera près d'une fenêtre dans un emplacement aussi dégagé que possible, bien ensoleillé (le milieu d'une double fenêtre est idéal).

Quant à la fumure, celle-ci se fera surtout à base de phosphates plus que de nitrates. Au bout d'un ou deux ans, la terre contenue dans le pot est privée de tous ses principes nutritifs : on rempotera la plante au début du printemps de préférence, on la placera dans un endroit assez chaud pour faciliter la reprise, on arrosera, pas avant une semaine, afin de donner aux racines endommagées par l'opération le temps de se cicatriser, et d'éviter tout pourrissement.

Quoiqu'elles soient très résistantes, les plantes grasses sont sujettes à certaines maladies : la plus courante est la pourriture. Viennent ensuite les parasites : les cochenilles à enlever avec un bâtonnet pointu et les araignées rouges que l'on combat avec des composés phosphorés.

Les plantes grasses peuvent se cultiver et fleurir en appartement. On peut les multiplier par semis, bouturage et greffe.

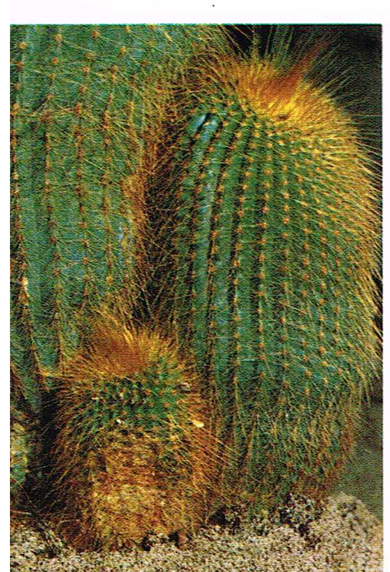
Le semis est effectué début mars dans le compost suivant : terreau de jardin, terreau de feuilles, sable de rivière. Les graines assez serrées, peu recouvertes et placées dans un endroit clair et chaud, germent au bout d'une semaine à quinze jours. On les repique, et, après trois ans, elles pourront être placées séparément en petits pots.

Le bouturage, plus simple et moins lent, se fait sans difficulté dans un compost sableux : les boutures, détachées, sèchent jusqu'à cicatrisation et seront enfoncées dans un sol humide.

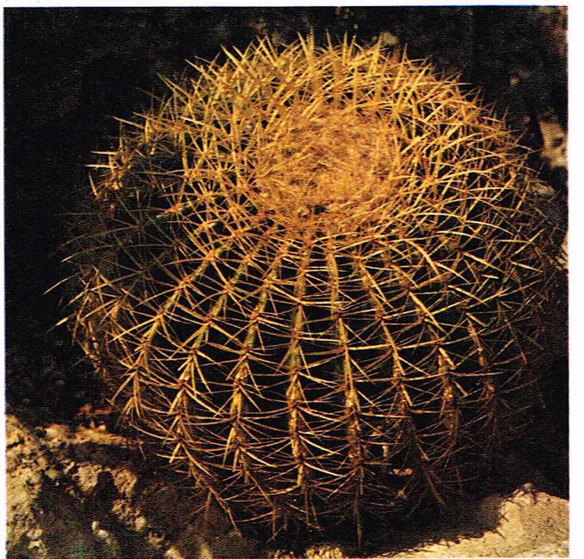
Quant à la greffe, bien qu'elle soit facile à réaliser, elle reste un procédé de professionnel.

Par leur aptitude à supporter des conditions climatiques extrêmement diverses, la plupart des plantes grasses font d'excellentes plantes d'appartement. A leur rusticité, elles joignent l'attrait de leurs formes curieuses, variées, et une floraison éphémère mais remarquable.

▼ **A gauche, un *Pilocactus;* ses longues épines le préservent efficacement des Animaux qui se nourrissent de Végétaux. A droite, un *Echinocactus,* dont la carcasse ressemble à celle d'un oursin.**



Bavestrelli - Bevilacqua - Prato



Bavestrelli - Bevilacqua - Prato

LA ZOOLOGIE

La zoologie est l'étude des animaux, et ceux-ci offrent une extraordinaire abondance et une diversification extrême.
Nous nous sommes volontairement limités à quelques exemples représentatifs, car prospecter complètement un aussi vaste domaine nécessiterait d'avoir recours à diverses coordonnées indispensables à une connaissance approfondie : morphologie, anatomie, physiologie, écologie, étude du comportement, etc.
Dans les pages qui suivent, vous trouverez une sélection parmi les animaux familiers ou ceux appartenant à la faune de nos régions, en passant par quelques espèces présentant certaines particularités ou curiosités, ou offrant un intérêt économique.

LE CORAIL

Bavestrelli - Bevilacqua - Prato



Parmi les étranges habitants des mers, le corail occupe une place privilégiée en raison de sa beauté et de son mystère. L'éclat de ses couleurs embellit les paysages marins. Il intrigue aussi bien le voyageur que le savant par sa ressemblance avec les organismes végétaux.

Linné lui-même, fondateur de la classification moderne, avait commencé par l'admettre dans le règne végétal, le rangeant parmi les Cryptogames. Plus tard, après une étude approfondie, le savant lui découvrit une composante animale et, en le dénommant Zoophyte, lui donna une position intermédiaire entre le règne animal et le règne végétal. Différents auteurs, von Siebold, Leuckart, entre autres, reprirent après Linné le terme de Zoophyte dans la même acception. Aujourd'hui, la nature animale du corail ne fait plus de doute : c'est un Cnidaire, et plus précisément un Anthozoaire.

Les caractères des Anthozoaires sont originaux et il faut être familiarisé avec la zoologie pour les reconnaître. Les deux plus évidents sont, d'une part, leur symétrie typiquement radiobilatérale qui les fait ressembler à d'étranges fleurs, d'autre part, leur immobilité : certains individus adultes sont comme « soudés » aux fonds marins, ils ne se déplacent jamais; c'est pourquoi on a longtemps cru qu'ils étaient des plantes pourvues de racines.

Les petits polypes qui produisent le corail vivent en colonies; on dénombre plusieurs espèces : Corallium rubrum *(le corail rouge, le plus connu et le plus apprécié),* Heliopora coerulea *(le corail bleu) et* Parantipathes larix *(le corail noir).*

Ces espèces ont traditionnellement un usage ornemental. Par ailleurs, il faut également noter que l'on désigne sous le nom de « coraux » les Anthozoaires madréporaires dont nous ne parlerons pas ici et qui appartiennent en majorité aux genres Acropora, Meandrina, *et* Fungia. *Ces espèces donnent lieu à d'importantes formations corallines, fréquentes dans l'océan Indien et l'océan Pacifique (récifs de la Grande Barrière australienne, îles madréporiques de la Polynésie, atolls coralliens, etc.).*

LE CORAIL ROUGE

Le corail rouge, bien qu'il soit fragile, se travaille aisément; les bijoutiers l'utilisent pour confectionner des colliers, des broches, des boucles d'oreilles, des statuettes et de petits objets précieux. Tout le monde connaît le corail rouge ainsi travaillé, mais ceux qui ont eu la chance de pouvoir observer une colonie de coraux dans son milieu naturel sont rares. Le spectacle est merveilleux : les petits arbrisseaux rose ou rouge vif sont parsemés de minuscules polypes d'un blanc pur qui les font ressembler à d'étranges branches de pêchers en fleur.

La reproduction du corail, particulièrement intéressante, peut être asexuée ou sexuée.

Corallium rubrum *est une espèce dont les colonies, hermaphrodites, vivent dans les eaux limpides, fraîches, fréquemment renouvelées de la Méditerranée.*

Quand une partie de la colonie meurt, la matière organique dont elle était constituée se dissout, tandis que les squelettes subsistent. De nouveaux polypes prennent la place des anciens avant de mourir à leur tour. Le résidu calcaire augmente ainsi, se développant à la fois en longueur et en épaisseur. Pour éviter une trop grande densité d'individus qui priverait la colonie de lumière et provoquerait une trop forte accumulation de déchets, les coraux se ramifient dans différentes directions,

Reconstitution d'une formation arborescente de coraux telle qu'on la découvre dans les eaux limpides et agitées où elle vit.

donnant ainsi naissance à une formation arborescente. Les coraux sont en effet très sensibles à la lumière : lorsqu'ils croissent dans des anfractuosités du fond, ils tendent à se développer vers les zones plus lumineuses, et on a constaté que les colonies bien éclairées sont toujours luxuriantes. Outre la lumière, les coraux ont besoin d'eaux limpides et agitées, à température régulière oscillant aux environs de 15°. Les lieux réunissant ces conditions sont peu nombreux. En Méditerranée, ils se situent entre 60 et 200 m, le long des côtes de Sicile, de Sardaigne et dans l'archipel grec.



▶ Branche de corail sculptée, représentant Fhu-hsi, le dieu de la longévité, appuyé à l'arbre de la vie (art chinois, époque Ch'ien-lung, 1736-1795 ; Milan, coll. privée).

Bavestrelli - Bevilacqua - Prato

L'INDUSTRIE DU CORAIL

Autrefois l'industrie du corail était florissante dans le midi de la France. Au XVIe siècle, des Corses, établis à Marseille, avaient obtenu du dey d'Alger le droit exclusif de pêcher le corail sur 200 km de côtes à l'est de Bône. Cette concession dura jusqu'au XVIIIe siècle. Aujourd'hui, on travaille encore le corail en France, malgré la forte concurrence de l'artisanat italien qui règne sur un marché fragile, car il est menacé par l'apparition des résines synthétiques permettant des imitations parfaites et peu coûteuses.

On pêche le corail à l'aide de filets attachés à une croix de bois. Les filets, dès qu'ils ont touché le fond, s'accrochent dans les rameaux de corail qu'ils arrachent. Lorsqu'ils semblent assez lourds, les pêcheurs les retirent de l'eau, trient et nettoient le corail ainsi récolté. Une grande partie de la pêche est rejetée à la mer, soit parce que le corail a perdu, en mourant, sa couleur caractéristique, soit parce qu'il présente des imperfections dues à des Éponges sécrétant des acides corrosifs. Cette méthode de pêche primitive est peu rentable si l'on ne connaît pas exactement la position des bancs de corail. Elle présente en outre le grave défaut d'appauvrir considérablement les bancs par sa brutalité : le filet détruit tout ce qui se trouve sur son passage, en particulier les petites colonies en formation, causant des pertes irréparables, étant donné la lenteur de croissance du corail. Les spécialistes estiment qu'une limitation de la récolte devient indispensable pour assurer la survie du corail et éviter sa disparition totale.

Le façonnement du corail est exécuté presque entièrement à la main. Le produit de la pêche est trié par taille et par calibre différents. Les aspérités sont retirées, puis le corail est percé afin d'être meulé ou poli. Une partie est vendue après le premier traitement pour faire des colliers plus ou moins coûteux. Les branches plus importantes sont sculptées au burin pour devenir des statuettes. Les ciseleurs italiens excellent à ce délicat travail d'artiste et les bijoux et objets qu'ils réalisent sont recherchés dans le monde entier.

▼ Vue d'avion d'un atoll de la Polynésie française : la zone émergée est recouverte de riches palmiers.

Bavestrelli - Bevilacqua - Prato

LES ÉTOILES DE MER

Découvrir une étoile de mer sur une plage est toujours une joie pour l'ami de la nature qui passe ses vacances au bord de la mer. Pour le zoologiste, l'étoile de mer est une astérie : ce nom vient d'ailleurs du mot grec ἀστήρ, qui signifie étoile et que l'on retrouve dans astérisque et astéroïde. Pourquoi donc rapprocher cet Animal d'une étoile ? Tout simplement parce qu'il possède cinq bras (au moins dans le cas de la plupart des espèces) et qu'il a de ce fait l'allure d'une étoile stylisée.

Les astéries se rangent dans l'embranchement des Échinodermes, qui regroupe des Invertébrés strictement marins, et dont la « peau » est constituée, en tout ou en partie, de pièces calcaires. Mais surtout, les Échinodermes sont construits selon une symétrie rayonnée, c'est-à-dire autour d'un axe qui passerait par le centre de leur corps.

Ces Échinodermes se divisent en cinq groupes principaux qui sont : les holothuries ou concombres de mer, à l'allure de gros Vers ; les oursins, bien connus, de forme globuleuse, couverts de piquants ; les crinoïdes, aux longs bras ramifiés, le plus souvent fixés par un pédoncule ; les ophiures, qui ressemblent aux astéries, mais ont des bras beaucoup plus grêles, et mobiles ; et donc, enfin, les astéries elles-mêmes.

AMBULACRES ET PODIA

L'anatomie d'une étoile de mer est riche en particularités étranges. Sa peau est hérissée de petites pinces, les pédicellaires, qui sont portées par les plaques calcaires situées légèrement en profondeur. La face dorsale de l'astérie montre, en son centre, l'anus et une plaque dite « madréporique » ; cette plaque, qui est poreuse, fait communiquer l'intérieur de l'Animal avec l'eau de mer.

Si nous retournons l'étoile de mer, nous découvrons sa face ventrale. Celle-ci présente en son milieu la bouche, à partir de laquelle rayonnent cinq gouttières ou ambulacres, une par bras. De chaque côté de ces gouttières, nous remarquons des sortes de petits pieds, les podia, grâce auxquels l'astérie se déplace ; c'est à eux qu'elle doit son surnom de « mille-pattes de mer ». C'est grâce à ces pieds qu'une étoile de mer mise sur le dos se retourne rapidement.

De plus, les podia sont en relation avec un appareil propre aux Échinodermes, le système ambulacraire, qui est constitué d'un réseau de canaux contenant de l'eau. Ce système est à la fois circulatoire, respiratoire et locomoteur : en effet, la pression de l'eau qu'il renferme provoque un allongement des podia.

Les astéries ont bien sûr un tube digestif, mais pas de véritable appareil excréteur. Le système nerveux est évidemment simple : il est fait de cellules nerveuses dispersées dans la peau, d'un anneau autour de la bouche et de cinq cordons rayonnants. L'étoile de mer ne voit guère, faute de véritables organes de la vision ; son odorat est au contraire développé, et c'est grâce à lui qu'elle « détecte » les Mollusques enfouis dans le sable.

A L'ASSAUT DES MOLLUSQUES

Les Mollusques lamellibranches ou bivalves, c'est-à-dire la moule et les types parents, constituent en effet la nourriture des astéries. Et c'est là l'un des aspects les plus passionnants de leur biologie. Progressant à l'aide de ses podia, l'étoile de mer se dirige vers un Mollusque et lui donne l'assaut. Desserrant l'étreinte de sa coquille, l'astérie dévagine son estomac (autrement dit, elle le retourne comme un doigt de gant), et l'introduit entre

D. Faulkner



Cette étoile de mer présente l'aspect d'une étoile stylisée à cinq bras.



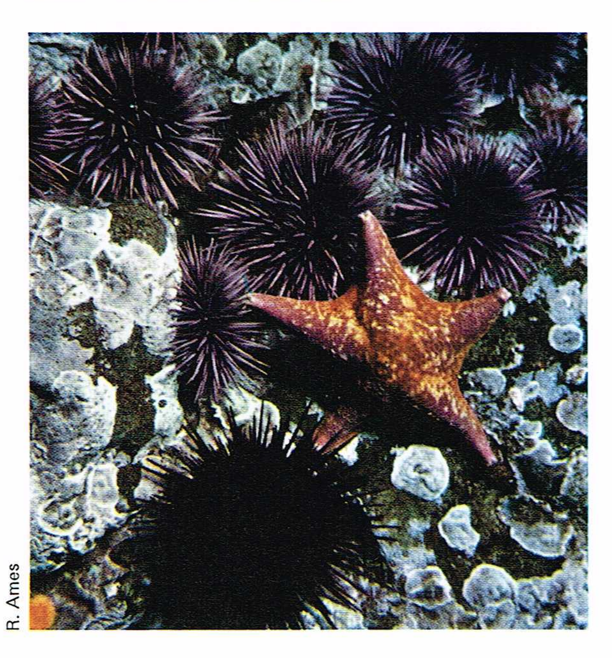
R. Ames

Ci-dessus, une étoile de mer d'une forme moins classique, à bras multiples.

les deux valves ; elle digère alors le Mollusque par osmose à travers les parois de son tube digestif.

Des zoologistes ont voulu en savoir plus sur cette nutrition sans pareille et ont, pour cela, effectué des expériences à son sujet. Certains spécialistes estimaient que, pour obtenir l'écartement des valves de sa victime, l'étoile de mer sécrétait un poison mortel pour le Mollusque.

On observe ici une autre espèce d'étoile de mer, au milieu d'une colonie d'oursins.



R. Ames

Pour savoir si un éventuel poison pouvait pénétrer entre les valves, le biologiste américain A. L. Burnett versa des particules de carmin dans un aquarium hébergeant plusieurs peignes, Lamellibranches du genre Venus, *solidement ligotés avec de la ficelle ; aucune particule ne fut décelée chez eux après l'expérience. La pénétration d'un poison paraissait donc improbable.*

Des peignes, dont la coquille avait été percée de petits trous, puis recouverts d'une étoffe très fine et enfin ligotés, furent digérés alors que l'étoffe empêchait tout contact entre l'estomac de l'astérie et la chair du Mollusque. Cette expérience démontre l'existence, chez l'étoile de mer, d'une enzyme très puissante, capable de digérer le corps du peigne. Cependant, on pouvait encore penser que l'astérie sécrétait un poison en même temps que l'enzyme.

Une autre expérience prouva que cette dernière substance suffisait à elle seule. Des peignes furent soustraits à leurs agresseurs à des stades différents de leur digestion ; or, le cœur des sujets à demi digérés battait encore... Ils n'avaient donc pas été tués par un poison avant la digestion. Tout devenait clair, sauf un point : comment l'astérie parvenait-elle à séparer les deux valves d'un Lamellibranche ? Pour écarter de 1 à 2 mm ces valves, maintenues fermées par de puissants muscles, la force nécessaire est de 6 kg. L'étoile de mer, grâce à sa puissance musculaire, parvient à ouvrir la coquille pendant un bref instant ; elle passe alors son estomac par l'ouverture, et laisse la coquille se refermer sur lui.

Depuis 1962, des astéries du genre Acanthaster *ravagent les récifs coralliens des océans Indien et Pacifique : en certains endroits, elles ont détruit jusqu'à 90 % des coraux.*

DES BRAS QUI REPOUSSENT

Un album de famille des étoiles de mer nous montrerait d'ailleurs des types très variés. L'astérie rouge Asterias rubens *habite la zone côtière de la Manche. La petite* Asterina gibbosa, *grise et bordée de jaune, vit dans les fucus du littoral atlantique ; ses bras sont courts et à peine distincts.* Solaster papposus, *séjournant dans les cailloutis de la Manche, et certaines espèces voisines possèdent, cas exceptionnel, de treize à vingt et un bras disposés autour d'un disque épais. L'étoile palmée,* Palmipes membranaceus, *en forme de pentagone écarlate, peuple la zone des sables du large, en Méditerranée. Sur le plan de la taille, le record appartient à une espèce qui atteint 90 cm de diamètre.*

Les astéries présentent au plus haut point le phénomène de la régénération. Si l'on coupe un bras à l'une d'elles, il repousse rapidement. Mieux encore ; un bras isolé peut régénérer une « étoile » complète, à condition toutefois qu'on lui ait laissé une portion du disque central. Certaines astéries peuvent même se reproduire par « scissiparité », c'est-à-dire en se scindant en deux étoiles filles.

Le zoologiste déjà cité, A. L. Burnett, a implanté des électrodes dans le disque central d'astéries. Il a pu constater que, si un courant de forte intensité est appliqué à l'étoile de mer, celle-ci se « débarrasse » de ses cinq bras...

Ce procédé d'autotomie, ou amputation volontaire, l'astérie l'utilise parfois lorsqu'un ennemi attaque un de ses bras : elle le lui abandonne alors tout simplement. L'autotomie est rendue possible par une liquéfaction des tissus conjonctifs de la racine du bras.

Normalement, les étoiles de mer se reproduisent par voie sexuée. Les sexes sont, chez elles, séparés, c'est-à-dire qu'il existe des mâles et des femelles. La rencontre dans l'eau de mer d'un spermatozoïde et d'un ovule donne un œuf puis une larve, dite brachiolaria ou bipinnaria, et pourvue de plusieurs bras. Après avoir flotté entre deux eaux, la larve tombe sur le fond et se fixe : elle devient alors une jeune astérie, qui se débarrasse de ses organes larvaires.

Comme on peut s'y attendre, les étoiles de mer présentent des associations avec de nombreux organismes marins : des Vers vivent parfois dans leur intestin, des Crustacés s'installent à la surface de leur peau, un Protozoaire cilié se loge dans leurs glandes génitales. Certains Mollusques s'attaquent aux astéries en enfonçant leur trompe dans leur corps ; c'est là, après tout, un juste retour des choses.

LES PERLES

Les perles sont, depuis fort longtemps, et au même titre que les pierres précieuses, le symbole de la beauté. Montées en colliers, en diadèmes, en bagues, ou en boucles d'oreilles, elles sont la fierté des élégantes les plus fortunées. Sans doute, les perles ne présentent pas l'éclat incomparable du diamant, ni les profondes couleurs des pierres précieuses, mais elles possèdent des teintes chaudes et mystérieuses. C'est le monde animal qui nous fait don de ces joyaux de la nature. Plus précisément, les perles sont produites par des Mollusques lamellibranches ou bivalves, c'est-à-dire dont la coquille est composée de deux valves.

Une perle est en fait le résultat de la réaction des tissus de ces Mollusques à une excitation mécanique d'origine externe; celle-ci est due à la pénétration dans l'Animal d'un parasite ou d'un corps étranger quelconque.

Premier cas : c'est un parasite qui pénètre à l'intérieur des valves de ces Animaux. Le manteau de l'hôte (repli cutané qui sécrète la coquille grâce aux nombreuses glandes dont il est pourvu) arrive à englober complètement l'intrus qui cherche à s'enfoncer. Il se forme, par suite, à l'intérieur du corps du Mollusque, une sorte de kyste; le manteau recouvre le parasite de couches plus ou moins concentriques de nacre, mais de nature différente de celle qui se dépose à l'intérieur des valves. C'est ainsi que naît une perle, qui grossit de plus en plus avec le temps.

Deuxième cas : il s'agit d'un corps inerte. Le processus est alors différent : comme il n'y a pas pénétration active, le manteau recouvre donc sur place ce corps, à l'aide d'une sécrétion qui adhère à la couche nacrée de la face interne des valves.

MOLLUSQUES PERLIERS

Les principaux Mollusques producteurs de perles sont les « huîtres perlières ». En réalité, ce ne sont pas de vraies huîtres, mais des Mollusques bivalves assez différents, les méléagrines; celles-ci ont une nacre beaucoup plus belle; de plus, elles se fixent à l'aide d'une touffe de filaments ou byssus qui manque aux huîtres véritables. Les méléagrines mesurent de 7 à 20 cm, et pèsent jusqu'à 10 kg.

En effet, les plus belles perles ne se trouvent pas dans nos mers, mais viennent principalement de l'océan Indien ou des rivages du Japon, mais il existe aussi des « huîtres perlières » sur les côtes de la Méditerranée, de la mer Rouge, du golfe Persique et du Pacifique. Il existe d'autres Mollusques perliers, par exemple les jambonneaux, ainsi nommés en raison de leur forme, et les « moules d'eau douce », c'est-à-dire les mulettes et les anodontes.

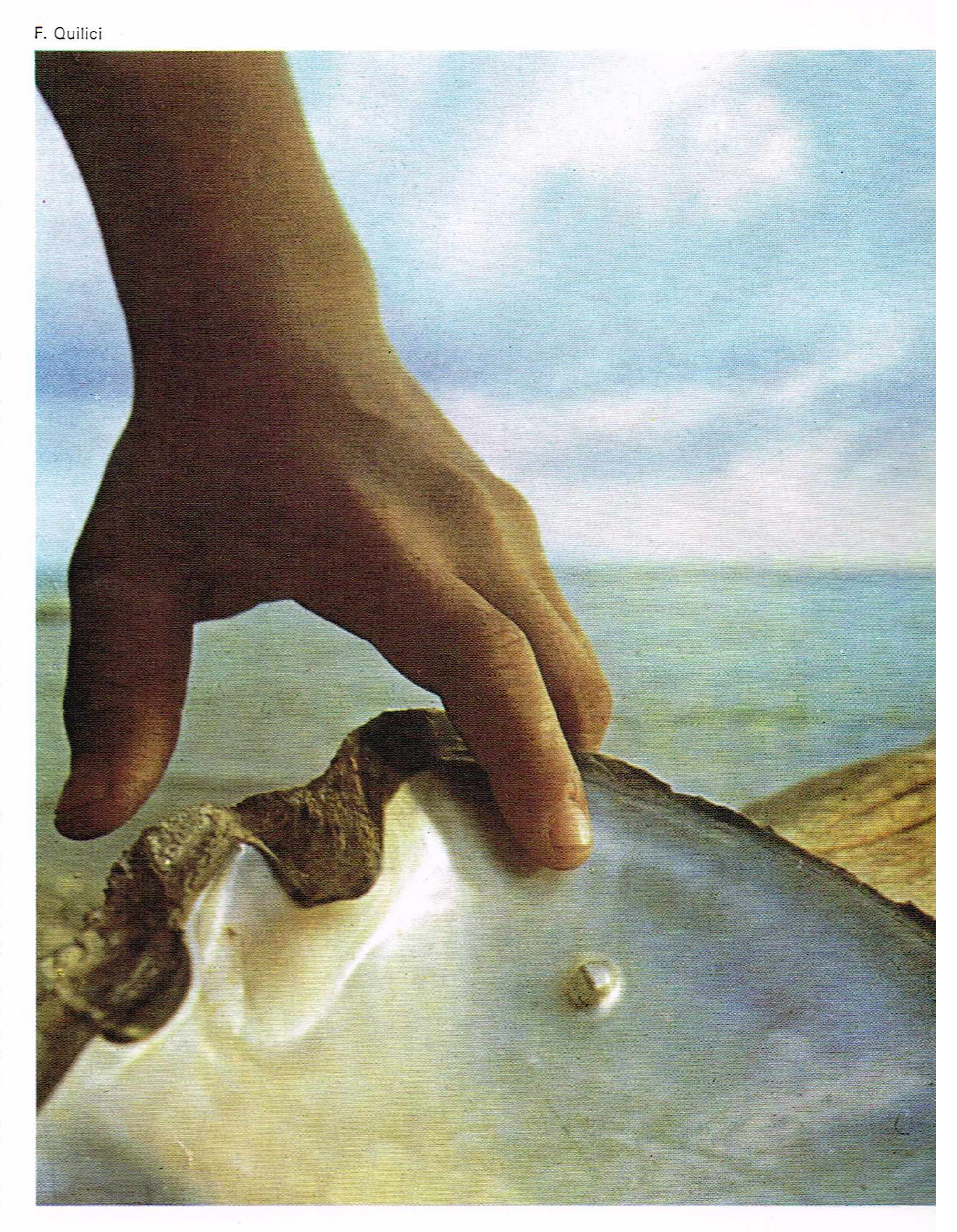
Naguère, la production de ces Bivalves d'eau douce — et principalement la mulette perlière, Margaritana margaritifera *qui habite les cours d'eau des Cévennes, des Vosges et de l'Écosse — a connu une certaine vogue; ces perles, bien que moins lumineuses que celles des mers, ont cependant des colorations remarquables : les ducs de Lorraine surveillaient l'exploitation des mulettes de la Vologne, petite rivière des Vosges. Passant à Plombières, l'impératrice Joséphine reçut en cadeau un collier de perles de mulettes; elle essaya alors, mais sans succès, d'acclimater ces Mollusques à la Malmaison. A l'occasion, même des espèces très banales, comme l'huître ordinaire ou la moule, peuvent receler des perles.*

LES PERLES CÉLÈBRES

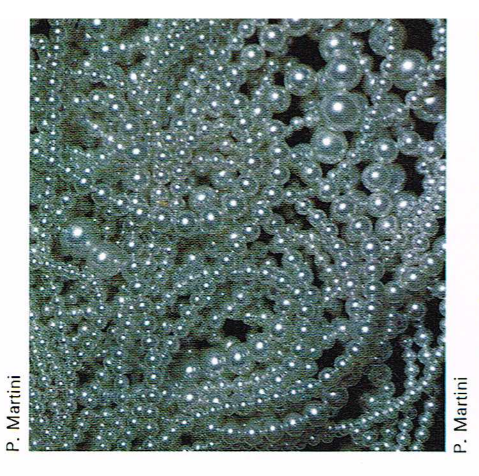
Les perles sont d'ailleurs appréciées depuis la plus lointaine antiquité. Les Perses, les Arabes, les Juifs les recherchèrent, tout comme les Grecs et les Romains qui les consacrèrent à Vénus. En France, c'est dans les édits de Philippe le Bel qu'elles sont pour la première fois mentionnées.

Pour avoir de la valeur, une perle doit être — selon les termes du métier — lumineuse et brillante, et elle doit avoir de l'« orient », c'est-à-dire un reflet nacré; ce sont la brillance et l'orient qui déterminent l'« eau » de la perle. De plus, il lui faut être parfaitement sphérique; les perles « baroques », c'est-à-dire de forme irrégulière, sont beaucoup moins chères, à égalité de grosseur, que les régulières. Enfin, le poids entre pour beaucoup dans

F. Quilici



Valve d'une huître perlière dans laquelle s'est formée une perle.


P. Martini


P. Martini

La perle naturelle (à droite) se distingue de la perle artificielle (à gauche) par la chaude couleur inimitable de son orient.

l'évaluation et est mesuré en « grains » (de 0,051 84 g) et en « carats » (de 0,242 g).

Il exista en France, jusqu'à la fin du XVIIIe siècle, une merveilleuse collection de perles, celle de la Couronne, commencée — à ce qu'on dit — par François Ier ; elle fut évaluée, en 1791, à environ 1 000 000 de francs de l'époque, chiffre véritablement fabuleux. Elle disparut dans les convulsions de la Révolution, mais plusieurs pièces échurent plus tard à de riches familles d'Europe, notamment chez les boyards russes. C'est par exemple en Russie qu'échoua la plus belle, la « Reine des perles », évaluée à 200 000 francs, acquise par les Zosima, et qui reçut le nouveau nom — bien mérité — de « la Pèlerine ». Une partie de la collection fut par la suite rachetée ou reprise par Napoléon Ier et Napoléon III ; la chute définitive de l'Empire la fit mettre à l'encan et la fit disperser, cette fois-ci sans espoir de retour.

De nos jours, les plus beaux ensembles se trouvent aux États-Unis d'Amérique ou sont encore aux mains d'anciens maharadjahs hindous. Celui de Lahore possède, par exemple, un collier de sept rangées de perles, toutes très grosses, entre autres merveilles. Mais le plus beau joyau du genre est sans doute « la Croix du Sud » : il s'agit de neuf perles, réunies naturellement l'une à l'autre en formant une croix parfaite (sept constituent la hampe et deux forment les branches) ; ce bijou a été découvert en Australie par un certain Clark, qui le brisa malencontreusement en le maniant ; on réussit ensuite à les réajuster si habilement que les traces de la réparation sont invisibles.

La plus grosse perle du monde est certainement la « Perle d'Asie », en forme de larme, et qui pèse 605 carats. A cause de sa forme et de son irrégularité, ce n'est pas un joyau, mais un objet de collection ; son eau est très belle et elle a une énorme valeur.

Deux pêcheurs remontant un filet chargé d'huîtres perlières, près de l'atoll de Rai-Roa, en Polynésie.


F. Quilici

La pêche aux perles

Depuis des siècles, la pêche des huîtres perlières se fait à la main : d'agiles et résistants plongeurs (et plongeuses, au Japon) vont au fond de la mer, armés d'un couteau et d'un filet ; ils coupent le byssus grâce auquel les Mollusques sont attachés aux rochers, puis mettent leur récolte dans le filet, généralement remonté à l'aide d'un câble dans une barque.

Le métier de pêcheur de perles n'est pas sans risques ; outre le danger constant d'être dévoré par les requins, le plongeur peut se trouver bloqué dans les profondeurs pour une cause quelconque. En outre, lorsque la remontée est trop rapide, ce qui arrive parfois, l'homme est sujet à des hémorragies et à des embolies dangereuses ou même mortelles, du fait de la décompression brutale : en effet, les plongées se font plus souvent qu'il ne le faudrait à plus de 10 m (la descente est effectuée grâce au poids d'une grosse pierre). Enfin, tôt ou tard, s'il n'abandonne pas le métier à temps, le plongeur est victime de diverses affections : emphysèmes, embolies, vieillissement prématuré, etc.

Perles de culture

En raison des risques que présente la pêche des perles sauvages, les hommes ont, depuis longtemps, tenté de susciter artificiellement la production de perles par les Mollusques. Ainsi les Chinois introduisaient, dans la coquille des moules de rivière, des figurines d'étain, représentant par exemple des bouddhas, afin qu'elles se couvrissent de nacre. Vers 1920, le Japonais Mikimoto perfectionna la technique.

Se fondant sur les études de son compatriote, le professeur Mishukawa, il mit au point un système pour forcer les huîtres à produire des perles en tout point semblables à celles qui sont naturelles, d'une forme et d'une eau parfaites. Pour ce faire, on élève normalement des huîtres jusqu'à l'âge de trois ans, comme pour les espèces comestibles ; puis on les prélève des bassins et on leur fait subir une opération. On choisit dans ce dessein des spécimens qui seront des « donneurs » et, après leur avoir ôté une valve, on coupe le tissu sécréteur de leur manteau en nombreux petits morceaux, sur lesquels on place une petite sphère de nacre ou encore de verre ou de porcelaine ; les morceaux sont ensuite réunis de manière à former un petit sac, à l'intérieur duquel se trouve la « graine » de nacre. Puis, par une délicate opération, on greffe ces sacs sur le manteau d'exemplaires intègres, dont on a ouvert de force les valves, en faisant bien attention à ne léser aucun organe interne. Enfin, les Mollusques ainsi opérés sont remis en mer.

En général, la greffe réussit parfaitement : il se développe, à partir des kystes artificiels, des perles qui grossissent d'autant plus qu'on laisse plus vieillir les huîtres « porte-greffons ». Mais c'est très généralement au bout de sept ans que les huîtres sont repêchées par des femmes spécialisées, les « filles de la mer ». Les perles artificielles produites de cette façon, lorsqu'elles sont assez grosses, sont en tout point semblables aux naturelles : seul le stimulus initial de leur formation est donc artificiel.

La seule manière de reconnaître avec certitude qu'une perle est cultivée est de l'examiner aux rayons X qui permettent de voir à l'intérieur le noyau nacré initial, alors que les perles naturelles possèdent en leur milieu un parasite minuscule, généralement un Ver, Cestode ou Trématode.

Pour certains, les perles obtenues par la méthode de Mikimoto sont de « fausses perles ». Il n'en est rien. Ce sont bien de vraies perles. A côté de ces perles cultivées, l'homme est effectivement capable de réaliser des perles artificielles. Diverses méthodes permettent de les obtenir. Ces perles sont en général des boules de verre enduites d'une substance appelée essence d'Orient et qui provient des écailles de l'ablette et du hareng.

Selon la tradition, c'est un fabricant de chapelets parisien qui, en 1680, découvrit cette technique, et d'une façon bien inattendue. Il remarqua que l'eau dans laquelle sa servante lavait des ablettes devenait brillante. Il eut alors l'idée d'enduire les grains de ses chapelets de la substance en question. Les Animaux participent donc aussi, mais d'une manière plus réduite, à la fabrication des fausses perles.

LES FRUITS DE MER

On donne l'appellation, plus gastronomique que scientifique, de « fruits de mer » à tous les organismes marins comestibles qui ne nagent pas, mais qui rampent sur les fonds ou y sont fixés. On doit donc littéralement les récolter, comme les fruits, pour les consommer. Ils constituent pour les amateurs le fin du fin de l'art culinaire.

Dans leur grande majorité, les fruits de mer sont des Mollusques (Lamellibranches ou Bivalves, et Gastéropodes) ; mais on y compte également des Échinodermes (oursins et holothuries) et des Tuniciers (ascidies).

LA PÊCHE DES FRUITS DE MER

Pour récolter les fruits de mer, les méthodes diffèrent beaucoup selon les espèces et les usages locaux. Le moyen industriel est la pêche au filet ou chalut, qui prend toute la flore et toute la faune du fond, jusqu'aux soles. Ce système provoque de gros dégâts, car il équivaut à un véritable labourage des fonds. On a bien cherché depuis quelque temps à concilier l'approvisionnement des marchés et la protection des organismes marins, mais aucune solution n'a encore été apportée.

Le chalut est un filet long de plusieurs mètres, en forme de sac, dont l'embouchure est pourvue, vers le bas, de plombs qui le font s'enfoncer et traîner, et dont le haut est muni de flotteurs qui le tiennent ouvert. Sur les côtés, deux tiges soutiennent l'ouverture ; elles sont reliées à deux câbles de traction. Le filet est traîné par un ou deux bateaux ; dans le premier cas, afin d'empêcher que les deux câbles ne s'emmêlent et ne se rapprochent, ce qui fermerait l'ouverture, le système comprend deux « divaricateurs », qui les écartent ; dans le second cas, cet artifice n'est pas nécessaire, puisque les câbles sont tenus séparés par les deux bateaux, qui en tirent chacun un.

En frottant le fond, le chalut recueille tous les corps mobiles qu'il rencontre ; les plus petits s'échappent à travers les mailles (généralement larges de 2 cm), alors que les plus gros sont ramassés pour être ensuite ramenés à la surface. Là, on effectue une sélection grossière de la pêche, rejetant tout ce qui n'est pas comestible ; le reste va sur les marchés. Ce système présente des inconvénients : le filet peut s'accrocher et se déchirer ; il peut aussi subir les assauts des dauphins qui se jettent sur son contenu appétissant, mais ce n'est pas une raison pour les tuer. Afin d'éviter tout cela, les filets sont pourvus de cordes destinées à les soulever et à les décrocher, ainsi que d'autres filets — plus robustes et à mailles plus larges — destinés à les protéger contre les dauphins (on appelle donc ces filets des « dauphiniers » ou « dauphinières »).

On utilise aussi des dragues, des nasses et des bordigues (nasses perfectionnées) ; les unes sont immergées sur les fonds sablonneux pour être fixées par des pieux, les autres sont mobiles et remontées en temps opportun. On emploie également des sortes de râteaux, également traînés au fond, qui agrippent avec leurs dents toutes les coquilles qui s'y trouvent. Nous rappellerons à ce propos que nombre de Mollusques ne s'appuient pas sur le sable, mais s'y enfoncent, en creusant à l'aide de leur « pied », pour ne laisser dépasser que les extrémités de leurs siphons. Les plongeurs sous-marins le savent bien, qui attrapent de nombreuses prises à la vue des petits trous de ces siphons... mais qui peuvent se piquer douloureusement aux piquants venimeux de divers Poissons fouisseurs.

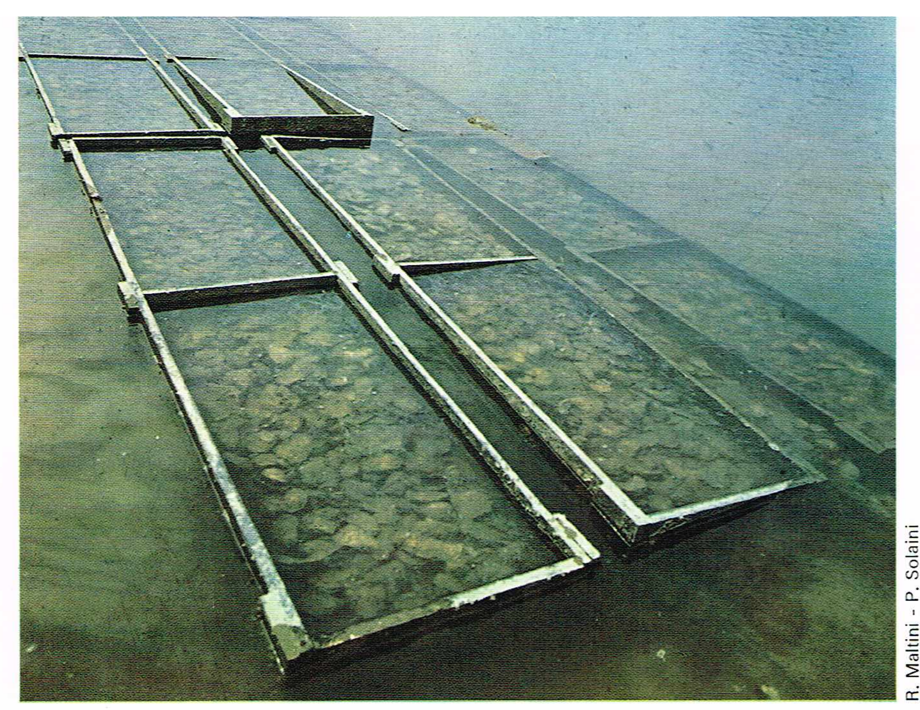
On pratique aussi la pêche à la main sur les fonds peu profonds, notamment celle des huîtres et des moules, lesquelles se fixent dans leur âge juvénile sur des supports fixes, pour ne plus en bouger de leur vie (généralement), souvent grâce à une touffe de filaments appelés byssus. Mais ces Mollusques, comme on le sait, sont l'objet d'un élevage intensif : l'ostréiculture dans le cas des huîtres et la mytiliculture dans le cas des moules.

R. Maltini - P. Solaini



***Paracentrotus lividus*, l'oursin le plus apprécié par les consommateurs.**

Lorsqu'on cueillera soi-même ces Bivalves, on évitera d'en capturer dans des eaux polluées — ce qui est malheureusement de plus en plus le cas —, car ils transmettent de graves maladies, comme l'hépatite virale et la typhoïde. L'une des premières précautions est de rejeter tous les individus dont les valves restent ouvertes quand on les



R. Maltini - P. Solaini

Culture d'huîtres dans un parc à huîtres.

touche. En effet, vivants, les Mollusques referment fermement leur coquille au moindre attouchement, alors que celle-ci s'ouvre passivement à la mort de l'Animal.

QUELQUES FRUITS DE MER

Parmi les Échinodermes, on consomme seulement dans nos pays les oursins; ce sont leurs glandes génitales que l'on mange, de préférence au printemps, quand les Animaux sont matures : elles sont de couleur jaune-orangé. On se sert, pour les pêcher, de filets traînés, ou de nasses, ou bien encore — quand ils sont cachés dans des cavités qu'ils creusent bien souvent eux-mêmes — de bâtons ou de cannes fourchues. Lorsqu'on les manie, il faut faire très attention à ne pas s'enfoncer sous la peau leurs piquants, car ceux-ci, se fragmentant très facilement, provoquent parfois des abcès. L'espèce la plus appréciée est l'oursin ordinaire (Paracentrotus lividus), *dont la couleur varie du violacé au brun verdâtre; on l'ouvre avec un couteau dans sa largeur, pour en recueillir, à l'intérieur, dans la moitié supérieure, les cinq gonades bien visibles, disposées radialement, et entourées par la partie terminale de l'intestin.*

En Afrique et en Australie, mais surtout en Extrême-Orient, on apprécie beaucoup les holothuries (des genres Holothuria *et* Stichopus), *dont on fait le mets appelé localement « trepang ». L'holothurie, éviscérée, est séchée au soleil, coupée en minces bandelettes, et soumise à d'autres traitements, qui varient selon les pays et sont bien souvent secrets. On obtient ainsi un produit qui, comme les Champignons séchés, doit être réhydraté avant d'être cuisiné. Les cuisiniers chinois sont passés maîtres en l'art de confectionner de succulents potages au trepang. Mais l'holothurie doit être accompagnée d'épices et de sauces très relevées, car elle est absolument fade. Il existe aussi des holothuries en Méditerranée, mais elles ne sont consommées que par les pêcheurs, et localement : en effet, il est difficile d'en vendre sur les marchés, en raison de leur mauvaise conservation. Il y a bien des conserves d'holothurie, mais elles ne se sont pas encore imposées dans le commerce.*

Les Tuniciers, Animaux vaguement apparentés aux Vertébrés inférieurs, comptent seulement, dans nos régions, une espèce comestible, très riche en iode, donc peu appréciée à cause de son goût, le violet ou figue de mer (Microcosmus sulcatus), *nommé par les Italiens « uovo di mare » ou « œuf de mer », qui vit attaché aux objets submergés des fonds sableux; on le consomme cru, après en avoir ôté la coriace tunique externe.*

Plusieurs espèces de Mollusques Gastéropodes sont communément consommées. Parmi les plus savoureuses, nous citerons la patelle ou bernique (Patella coerulea), *à coquille conique en forme de chapeau chinois; elle adhère à l'aide d'une robuste ventouse aux rochers littoraux, ce qui oblige à la décoller à force avec un petit levier. Les murex (et surtout le* Murex brandaris *ou rocher épineux), à la coquille pourvue de grosses épines, sont également appréciés sur les côtes méditerranéennes : c'est eux qui fournissent la pourpre. D'autres excellents Gastéropodes sont les ormeaux ou oreilles de mer (genre* Haliotis), *dont la coquille est perforée de cinq ou six trous pour le passage des tentacules et qui habitent les rochers, et les « escargots » à ombilic (genre* Natica *ou* Neverita) *qui vivent sur les fonds sablonneux peu profonds.*

En grande majorité les fruits de mer sont cependant des Mollusques Bivalves, comme nous l'avons dit, c'est-à-dire pourvus d'une coquille en deux pièces ou valves. Nous citerons parmi eux les moules (genre Mytilus) *et les huîtres (genres* Ostrea *et* Gryphaea), *désormais élevés à l'échelle industrielle. Pour leur part, les moules commencent à être très vendues en boîtes. La coquille Saint-Jacques ou peigne (genre* Pecten), *délicate aussi bien crue que cuite, peut très bien aussi être conservée. Les pétoncles ou* Chlamys, *proches mais plus petits, donnent de remarquables fritures.*

On trouve communément sur les fonds sableux les coques (genre Cardium) *et les clovisses ou palourdes (genre* Tapes), *de saveur très fine; la praire* (Venus verrucosa), *dont la coquille est faite de lames concentriques rugueuses et parallèles au bord, est excellente, crue; la vénus (genre* Venus) *est moins savoureuse, quoiqu'on la fasse parfois passer pour la palourde. Les couteaux* (Solen vagina, *droit, et* Ensis ensis, *courbe), très allongés (ils mesurent 12 ou 13 cm de longueur pour environ 2 cm de largeur), ont très bon goût crus : on les pêche en versant du sel sur leur trou, ce qui les fait sortir.*

Les écueils portent les arches de Noé (Arca diluvii *ou* noae) *et les barbues* (Arca barbata), *à coquille gibbeuse caractéristique, plutôt indigestes mais savoureuses, et les lithodomes ou dattes de mer* (Lithodomus lithophagus). *Ces Bivalves forent, à l'aide de la sécrétion d'acides, les pierres où ils se fixent et d'où on les extrait de force en brisant la roche.*

A gauche, oursins ouverts pour montrer l'intérieur de l'Animal; à droite, palourdes, appelées ainsi que les moules, oursins, et bien d'autres « fruits de mer ».



G. Relini



P. Martini

L'ÉLEVAGE DES MOULES

Sur les rochers que la marée a découverts, voici des paquets de moules, agglutinées par grappes. Elles sont fixées à l'aide d'un byssus, touffe de filaments sécrétée par une glande particulière sous l'aspect d'un liquide qui durcit ensuite.

La coquille d'une moule se compose de deux valves, ce qui est le propre des Mollusques de la classe des Lamellibranches ou Bivalves, à laquelle appartiennent également les huîtres. Extérieurement, les valves de la moule sont noir violacé : chacune est attachée à l'autre par un crochet situé à sa pointe antérieure ; les deux crochets forment une charnière.

Sur leur face intérieure, les valves sont couvertes de nacre. A leurs deux extrémités se remarquent les empreintes des muscles, qui les unissent l'une à l'autre. Grâce à ces muscles, la moule peut maintenir sa coquille fermée.

L'ÉLEVAGE DES MOULES

Les moules sont appréciées des gourmets depuis les débuts de l'histoire, mais l'idée de les élever pour les manger est relativement récente. Alors que l'ostréiculture, ou élevage des huîtres, remonte à l'Antiquité, celui des moules, ou mytiliculture, n'a débuté qu'au Moyen Age.

Il est difficile de donner une date précise, car les origines de cette pratique sont plus ou moins légendaires. Vers 1235, une barque ayant à son bord trois Irlandais aurait fait naufrage dans la baie de l'Aiguillon, en Vendée. Il n'y eut qu'un survivant : le patron de l'embarcation, un certain Patrice Walton.

Il demeura dans la région et, pour subsister, tenta de capturer des Oiseaux à l'aide de filets tendus entre des piquets. A sa grande surprise, il remarqua que ces derniers se couvraient de moules. Le naufragé mobilisa alors les habitants de la côte : des centaines de pieux furent bientôt piqués aux alentours, et Walton répandit de jeunes moules tout autour. Telle fut la naissance, si l'on en croit la tradition, de la mytiliculture.

La moule a pour avantage d'être (relativement) bon marché. Cela est dû au fait que l'Animal se reproduit bien plus facilement et rapidement que l'huître, grossit aussi plus vite, et peut donc donner d'importantes récoltes annuelles. En outre, il lui faut moins de soins, ce qui réduit son coût de production. On la consomme de préférence cuite — ce qui réduit les risques d'empoisonnement ou d'infection — mais elle peut être mangée crue, surtout sous certaines de ses formes, comme les grosses moules d'Espagne. Mais elle n'est pas plus exposée à la pollution que l'huître, car celle-ci reste en bassins clos. La production des moules augmente sans cesse, à raison de centaines de milliers de quintaux par pays producteur.

La mytiliculture ne consiste pas, comme on pourrait le penser, en la capture des Animaux qu'on nourrirait ensuite en captivité, mais en l'exploitation rationnelle de bancs de moules croissant librement. L'intervention humaine se limite à favoriser artificiellement leur survivance et leur reproduction. Les avantages de l'élevage par rapport à la pêche libre sont une plus grande quantité et une meilleure qualité des produits, plus gros et plus savoureux quand ils proviennent d'élevages.

Les espèces communément élevées dans nos régions sont la moule de la Méditerranée (Mytilus galloprovincialis), mais surtout la moule ordinaire (Mytilus edulis), de préférence sur les côtes de l'océan Atlantique et de la Manche : elle est ainsi élevée en divers points des côtes de Bretagne et de Charente-Maritime.

A. Margiocco



Détail d'un groupe de moules de l'espèce la plus communément recherchée.



S.E.F.

Des grappes de moules sont retirées de la mer et nettoyées avant la mise en vente.

Pour créer un élevage, ou parc, on choisit une anse côtière, de faible profondeur, le plus loin possible des sources de pollution, à eaux limpides, et à l'abri des tempêtes. Comme les moules préfèrent les eaux de salinité faible, il est bon que se trouve à proximité une embouchure de cours d'eau. Il faut aussi qu'il y ait à proximité abondance de moules, ce qui garantit le renouvellement des individus. Enfin, les conditions naturelles doivent être appropriées.

On plante alors, comme l'avait fait Walton, à intervalles de quelques mètres, des pieux — de préférence en châtaignier ou en chêne — en longues rangées parallèles; pour plus de solidité, on les place parfois en V renversés en les attachant pour cela deux à deux. On étend entre les poteaux, à la fin de l'automne, de vieilles cordes de chanvre, où s'attacheront les petites larves de moules; en effet, ces dernières atteignent leur maturité sexuelle de novembre à février, et déversent alors dans la mer leurs produits sexuels. Il y a donc fécondation externe.

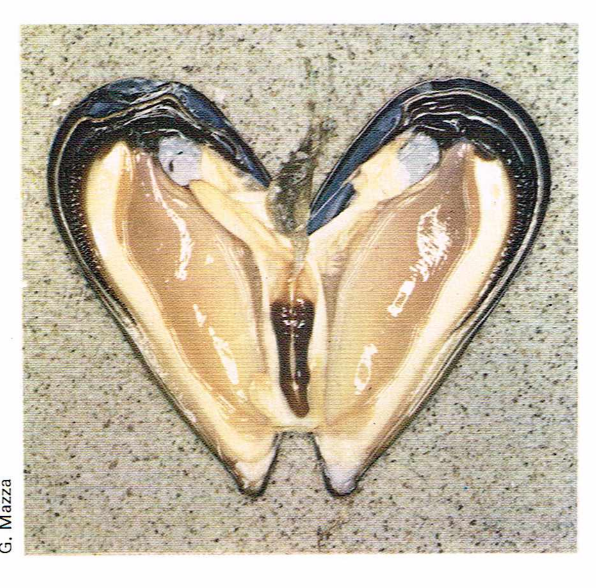
Les œufs donnent des larves ciliées, pourvues de deux expansions en ailes, et nommées véligères; les véligères se déplacent dans l'eau à la recherche d'un support, pendant quelques jours. Une fois fixées, elles se transforment en de petites moules à coquille très tendre et grisâtre, et sécrètent par une glande spéciale le byssus de fixation. Après environ deux mois, elles mesurent 1 cm de longueur et ont l'aspect caractéristique de l'espèce, à coquille foncée et résistante.

Les véligères s'accrochent en grand nombre aux cordes immergées, et, au début du printemps, celles-ci sont recouvertes d'une multitude de petits individus. On les distribue alors dans le parc. Après avoir retiré les cordes anciennes et éventuellement d'autres objets destinés à attirer les larves, on tend sur les pieux, à 1 m environ au-dessus du niveau de l'eau, de gros câbles, en formant des carrés ou chambres, éventuellement avec des cordes traversières. On attache à tous ces cordages d'autres morceaux de cordes végétales, mais neuves, qui pendent librement, mais au moins à 1 m au-dessus du fond, pour les protéger des prédateurs venus du fond. Sur la partie immergée des cordes, on fixe des morceaux d'anciens cordages, chargés de petites moules, pour permettre aux juvéniles de s'installer. Ces derniers, en effet, étant trop nombreux, cherchent à avoir de l'espace, ce qu'ils font en se déplaçant le long des câbles nouveaux; ils se meuvent à l'aide du pied, qui fait se détacher le byssus pour en sécréter par la suite un neuf, à l'endroit choisi.

A la fin de l'été, quand la place se fait rare en raison de la croissance des individus, des grappes de ces Mollusques sont retirées de la mer; des individus sont détachés de force et sont insérés entre les spires de nouvelles cordes, au préalable légèrement détordues avant d'être relâchées pour serrer les Animaux et les retenir jusqu'à ce qu'ils aient de nouveau sécrété un byssus dans la mer.

C'est généralement vers l'âge de quatorze à quinze mois que les moules atteignent la bonne taille; on retire donc alors les grappes, et on en détache les moules; elles sont alors nettoyées des Animaux qui s'y sont incrustés (Balanes, Serpulidés, Bryozoaires) et de leur vase, pour enfin être vendues. Comme les moules peuvent survivre assez longtemps hors de l'eau, elles sont en mesure de voyager loin. En effet, dès qu'elles se sentent hors de l'élément liquide, elles serrent fermement leurs valves, ce qui leur fait conserver de l'eau à l'intérieur de la coquille et les isole totalement, même en cas de lavages répétés à l'eau douce.

Une moule de la Méditerranée ouverte, pour montrer la partie comestible du Mollusque.



G. Mazza

LES ENNEMIS DES MOULES

Bien que les moules n'aient pas autant besoin de soins que les huîtres — comme nous l'avons dit — il convient de veiller sur elles. D'abord, il faut éloigner les prédateurs des parcs; pour ce faire, on met à sec ces derniers durant une journée : les moules n'en pâtissent pas, pour la raison invoquée plus haut, mais au contraire les prédateurs — principalement les murex et les astéries ou étoiles de mer — meurent ou sont obligés de s'en aller. En outre, on enlève les individus morts, c'est-à-dire ceux dont les valves sont ouvertes, et les autres organismes étrangers, surtout des Ascidies, qui font des ravages parmi les larves à l'époque de la reproduction.

Un problème plus compliqué est posé par des Poissons, dorades et autres, qui engloutissent les moules juvéniles peu après leur fixation aux cordages. On remédie partiellement à ce danger en cherchant à faire fixer le plus tôt possible les larves, afin d'avoir à la fin du printemps des individus déjà bien développés et bien protégés par la coquille; c'est effectivement lors des mois les plus chauds que ces voraces Poissons apparaissent en grand nombre dans les élevages.

Naturellement, il n'est pas possible de déterminer dans l'absolu l'époque précise de la reproduction des moules, qui est variable. Cependant, en mettant à l'eau le plus tôt possible les câbles, pour la capture des larves, on aura les plus grandes chances de ne pas voir s'appauvrir l'élevage.

LES MÉDUSES

R. Maltini - P. Solaini



La méduse constitue sans aucun doute l'un des groupes les plus intéressants des Animaux marins; on la voit ici sous son aspect délicat et inoffensif.

Échouée sur la grève, une masse informe et gélatineuse attire l'attention des baigneurs, qui bien vite s'en détournent avec dégoût : il est vrai qu'une fois échouée, une méduse n'est pas très attirante. Elle a une tout autre allure quand elle évolue en pleine mer, gracieuse ombrelle qui vogue entre deux eaux, et souvent près de la surface.

En voyant des méduses pour la première fois, on peut se demander s'il s'agit bien d'Animaux. C'est qu'elles appartiennent à l'un des embranchements d'Invertébrés les plus simples, les moins évolués : celui des Cnidaires, qui groupe également les actinies, ou anémones de mer, les coraux et les hydres.

Typiquement, une méduse se compose, à la partie supérieure, d'une vaste ombrelle, d'où pend un manubrium, sorte de trompe à l'extrémité de laquelle s'ouvre l'orifice buccal. Au bord de l'ombrelle se trouvent généralement des tentacules, qui peuvent cependant manquer, comme, du reste, le manubrium. Il y existe aussi parfois un « voile » qui ondule avec élégance au moindre mouvement. Des organes sensoriels s'observent sur le pourtour de l'ombrelle.

Malgré leur beauté et leur élégance — elles semblent en effet voler — les méduses sont voraces. Elles ingèrent leurs proies dans leur vaste cavité gastrique pour les digérer; les déchets non absorbés sont rejetés par la bouche elle-même qui fait fonction d'anus.

En fait, la méduse ne constitue souvent qu'un épisode dans le cycle vital d'un Cnidaire. Les membres de l'embranchement se présentent soit sous la forme « méduse », soit sous la forme « polype », sorte de petit sac ouvert vers le haut et fixé à un support.

Certains Cnidaires n'existent que sous l'aspect du polype, les actinies par exemple, d'autres uniquement sous le type méduse. Mais chez la plupart, on observe une alternance de générations entre les deux stades.

C'est le cas, par exemple, chez les acalèphes, les grosses méduses les plus classiques. Leur cycle commence par un polype, qui se divise transversalement comme une pile d'assiettes : chacune de celles-ci devient une petite méduse qui se libère et grandit...

Elle possède des glandes génitales, qui permettent une fécondation externe. L'œuf donne une larve ciliée, la planula, qui se fixe et se transforme en polype. Le cycle est ainsi bouclé.

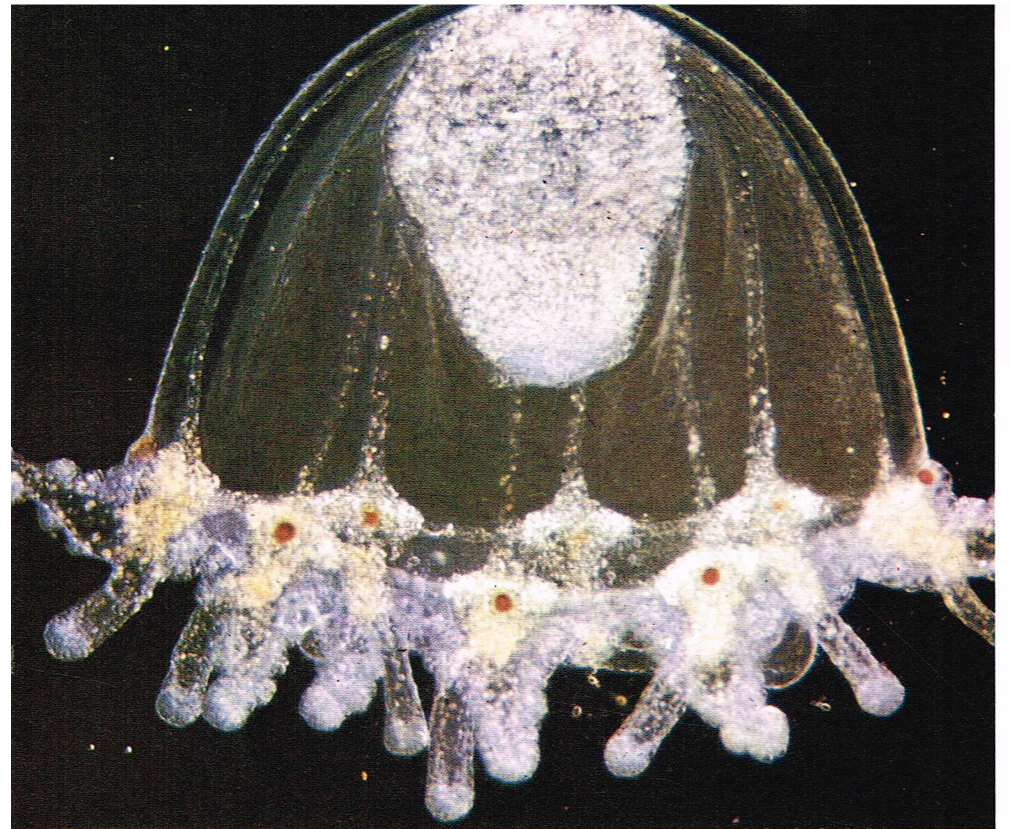
LES « ORTIES DE LA MER »

Comment se fait-il que des Animaux aussi fragiles, qui se liquéfient facilement au soleil, puissent capturer des proies plus robustes qu'eux, tels les Poissons? On s'en rend compte immédiatement lorsqu'on a le malheur de se faire douloureusement piquer par un organisme de cette sorte, en le touchant par mégarde ou par ignorance. En effet, les méduses et les polypes sont pourvus d'innombrables cellules urticantes, disposées surtout sur les tentacules, qui sécrètent un venin pouvant paralyser et tuer des proies assez grosses, et même provoquer des troubles chez l'homme, parfois graves.

Ces cellules urticantes, ou cnidoblastes ou encore nématoblastes, sont pourvues chacune d'une ampoule à venin dans laquelle baigne un filament enroulé en spirale [1].

Il y a en outre, extérieurement, une formation sensorielle semblable à un court poil, le cnidocil. Quand ce dernier ressent un stimulus quelconque, il provoque la dévagination du filament urticant : la méduse est donc entourée

1. *Naturellement proportionné à la taille de la cellule, ce qui fait que la longueur du filament varie de 50 μ à 1 mm; le cnidoblaste est long tout au plus de 0,25 mm.*



G. Mazza

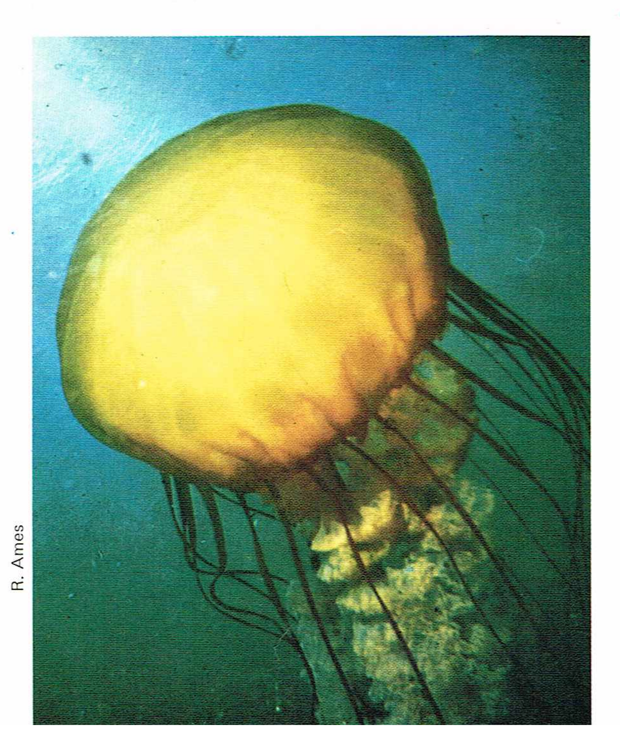
Cette méduse cache sous sa transparence absolue des armes efficaces constituées par des cellules urticantes disposées sur ses tentacules.

tout entière par un invisible réseau d'innombrables filaments venimeux.

Mais il ne semble pas que la stimulation du cnidocil soit l'unique cause de la dévagination du filament : celle-ci peut en effet avoir lieu même sans aucun stimulus local, à la suite d'une réponse coordonnée de tout l'organisme. Le mécanisme de mise en action des cnidoblastes paraît lié à des modifications au niveau de leur membrane cellulaire, avec pour conséquence une augmentation de la pression hydrostatique ; il se produit un gonflement de tout l'appareil, qui, au moindre choc, explose littéralement en chassant son venin.

Heureusement, il n'y a pas toujours danger pour l'homme, car la piqûre est souvent fort minime et provoque au maximum une légère sensation de brûlure. Mais il est des cas où la toxine de l'Animal pénètre dans l'organisme, donnant lieu à des œdèmes, des érythèmes et des symptômes généraux. Sur les neuf mille espèces environ de méduses, une soixantaine seulement sont dangereuses pour l'homme ; notons que la plupart d'entre elles n'habitent pas les mers d'Europe ou y sont très rares. Le venin des Cnidaires a été étudié par de nombreux auteurs ; on l'obtient grâce à l'action de décharges électriques ou par l'extraction du contenu des cnidoblastes.

Dans son milieu ambiant, la méduse provoque l'émerveillement par sa beauté et ses mouvements qui rappellent ceux de la danse.



R. Ames

ALBUM DE FAMILLE DES MÉDUSES

Il existe dans la Méditerranée diverses méduses de l'ordre des Acalèphes. La plus dangereuse est la grosse rhizostome (Rhizostoma pulmo), *dont l'ombrelle est dépourvue de tentacules et dont le manubrium se termine par huit appendices ; les plus gros exemplaires, d'un diamètre de 20 cm, provoquent un œdème très désagréable ; le venin est beaucoup plus dangereux quand il pénètre par les muqueuses et notamment la conjonctive. La* Chrysaora hyosciella, *assez grosse (d'un diamètre de 15 cm), présente aussi quelque danger ; elle a un long manubrium et vingt-quatre tentacules ; son ombrelle est jaunâtre avec seize rayons bruns caractéristiques. Mais le géant du groupe, c'est* Cyanea capillata, *dont l'ombrelle atteint 3 m et les tentacules 40 m, ce qui en fait l'un des plus grands Animaux connus !*

L'acalèphe brillante (Pelagia noctiluca) *forme fréquemment de grands bancs dans les mers profondes. Plus petite que les précédentes, elle est caractérisée par sa luminescence rose violacé, qu'on remarque la nuit, surtout en hiver. Il est très dangereux de tomber dans les bancs qu'elle forme, à cause des innombrables piqûres dont on peut être victime. De rares acalèphes vivent en eau douce.*

Les mers de l'Australie occidentale connaissent de très dangereuses invasions de Méduses, après les premières pluies estivales. Alors, d'innombrables spécimens de Chironex fleckeri *et de* Chiropsalmus quadrigatus *se pressent près des côtes, surtout lorsque le temps est beau et quand souffle le vent du nord. Cela semble dû à des variations de la salinité et de la température de la mer, qui poussent ces Animaux vers les plages, alors qu'ils sont normalement pélagiques.*

La première de ces deux espèces est sans doute la plus dangereuse. Lorsqu'elles ont touché la peau d'un infortuné baigneur, celle-ci rougit d'abord, puis se décolore localement, parfois pour plusieurs années ; le sujet ressent de plus des démangeaisons. L'endroit blessé par Chironex fleckeri *est rapidement atteint d'érythème et d'œdème, avec formation de phlyctènes, sortes de vésicules pouvant atteindre une hauteur de 5 cm, et nécrose conséquente, parfois jusqu'aux tissus sous-cutanés ; la guérison est lente et laisse des cicatrices indélébiles. Quand la quantité de venin est quelque peu importante, il y a collapsus, c'est-à-dire diminution de l'énergie du cœur, suivi par un blocage cardiaque.*

Heureusement, nous ne connaissons rien de semblable sur les plages de la Méditerranée et de l'océan Atlantique, ainsi que sur les côtes de la Manche et de la mer du Nord. Toutefois, la physalie (Physalia physalis) *provoque de fort douloureuses piqûres. Elle appartient à la classe des* Siphonophores, *organismes coloniaux qui dérivent en pleine mer, attachés à un flotteur plein d'air, ou pneumatophore. En dessous, pendent des polypes à fonctions variées. Les uns président à la digestion, d'autres encore à la préhension, et d'autres enfin à la reproduction. La physalie provoque parfois la noyade de la personne touchée, à cause de la forte douleur qui aboutit à l'évanouissement ; bien que les effets ne soient pas toujours aussi graves, ils peuvent être aussi impressionnants que ceux que produisent les méduses australiennes. Les propriétés urticantes des physalies leur ont valu des appellations martiales : galère, frégate, vaisseau de guerre portugais ou hollandais, etc. Elles forment parfois des bancs de plusieurs millions de sujets, qui s'étirent sur des dizaines de kilomètres...*

Les physalies ont été à l'origine d'une importante découverte médicale, celle de l'anaphylaxie. C'est au cours d'une croisière sur le yacht du prince de Monaco que C. Richet et P. Portier, en 1902, montrèrent que le venin de ces méduses sensibilise l'Animal ou l'homme qui l'a reçu ; aussi la seconde injection a-t-elle des effets beaucoup plus violents que la première. C'est, en quelque sorte, le contraire de la vaccination.

LES TERMITES

Parmi les Insectes qui ont évolué au cours des âges vers un perfectionnement de la vie sociale, les plus anciens sont les Termites ; ce sont de vrais « fossiles vivants », dont l'apparition remonte à l'Éocène, soit à 70 millions d'années. Les Termites sont aussi appelés vulgairement fourmis blanches, bien qu'ils n'aient rien à voir avec les véritables fourmis, sinon parfois une vague ressemblance.

Leur vie dans les ténèbres perpétuelles et leur parfaite organisation communautaire ont intéressé depuis longtemps les biologistes, mais bien des aspects de leur vie sont encore inconnus, surtout parce qu'il est très difficile de les élever en laboratoire, ce qui a été réalisé seulement pour les formes les plus primitives qui constituent de petites colonies dans le bois.

ORGANISATION D'UNE TERMITIÈRE

Toutes les espèces de Termites sont sociales, mais on s'est rendu compte que la complexité est très différente pour l'organisation des diverses communautés. Chacune d'entre elles est formée d'un ou de plusieurs couples fertiles, constitués d'un roi et d'une reine, dont le rôle est uniquement la procréation. On sait que les femelles de Termites sont très fécondes : chez certains genres, par exemple le Bellicositermes *ou Termite belliqueux, qui peuvent vivre à l'état adulte durant plusieurs dizaines d'années, le nombre des œufs pondus atteint des millions, ce qui dépasse la fécondité de tout autre Insecte.*

Le roi et la reine passent toute leur vie dans une chambre royale, située généralement dans la partie la plus centrale de la termitière. La reine devient une sorte d'énorme boudin, bourré d'œufs, incapable de remuer, quelque trente mille fois plus volumineux que les autres Termites. Le roi rampe sur ses flancs. Au fur et à mesure que la reine pond les œufs, ceux-ci sont enlevés par les ouvrières, qui sont des individus stériles aussi bien mâles que femelles, et portés dans d'autres chambres où seront élevées les larves. Ce sont en effet les ouvrières qui ont pour charge d'organiser le nid, et qui fabriquent les termitières, énormes constructions visibles dans les pays chauds et atteignant parfois 6 m de hauteur pour un diamètre de plusieurs dizaines de mètres. Ces constructions se font à l'aide de petits bouts de bois mastiqués, ensalivés, et parfois mélangés de sable ou d'argile.

Par rapport à leurs architectes, les termitières sont des édifices colossaux. Cathédrales et pyramides ne sont, toutes proportions gardées, rien à côté d'elles, et ce sont des monuments hauts comme des montagnes que l'homme devrait construire pour rivaliser avec les Termites.

L'observation des Termites a conduit le professeur Grassé à émettre la théorie de la stigmergie (du grec στίγμα, piqûre, et ἔργον, travail). Au cours de la construction de la termitière, le Termite est guidé par son propre travail : les piliers sur lesquels il est juché le stimulent pour la poursuite de son œuvre d'architecte.

Les ouvrières sont en outre chargées de maintenir l'uniformité de l'atmosphère à l'intérieur du nid, et en particulier l'humidité, laquelle doit être toujours élevée ; pour ce faire, elles ont recours à divers artifices, par exemple creuser de profondes galeries dans le sol afin d'atteindre une nappe phréatique, ou bien humecter de salive les parois des galeries.

Les ouvrières vont par ailleurs à la recherche de la nourriture — qui est presque toujours du bois, et en tout cas uniquement des matières cellulosiques. Elles se déplacent dans des tunnels souterrains ou superficiels ; ces derniers sont cependant recouverts par la même matière que celle dont est fabriqué le nid, de sorte que les Termites ne sortent jamais à la lumière solaire.

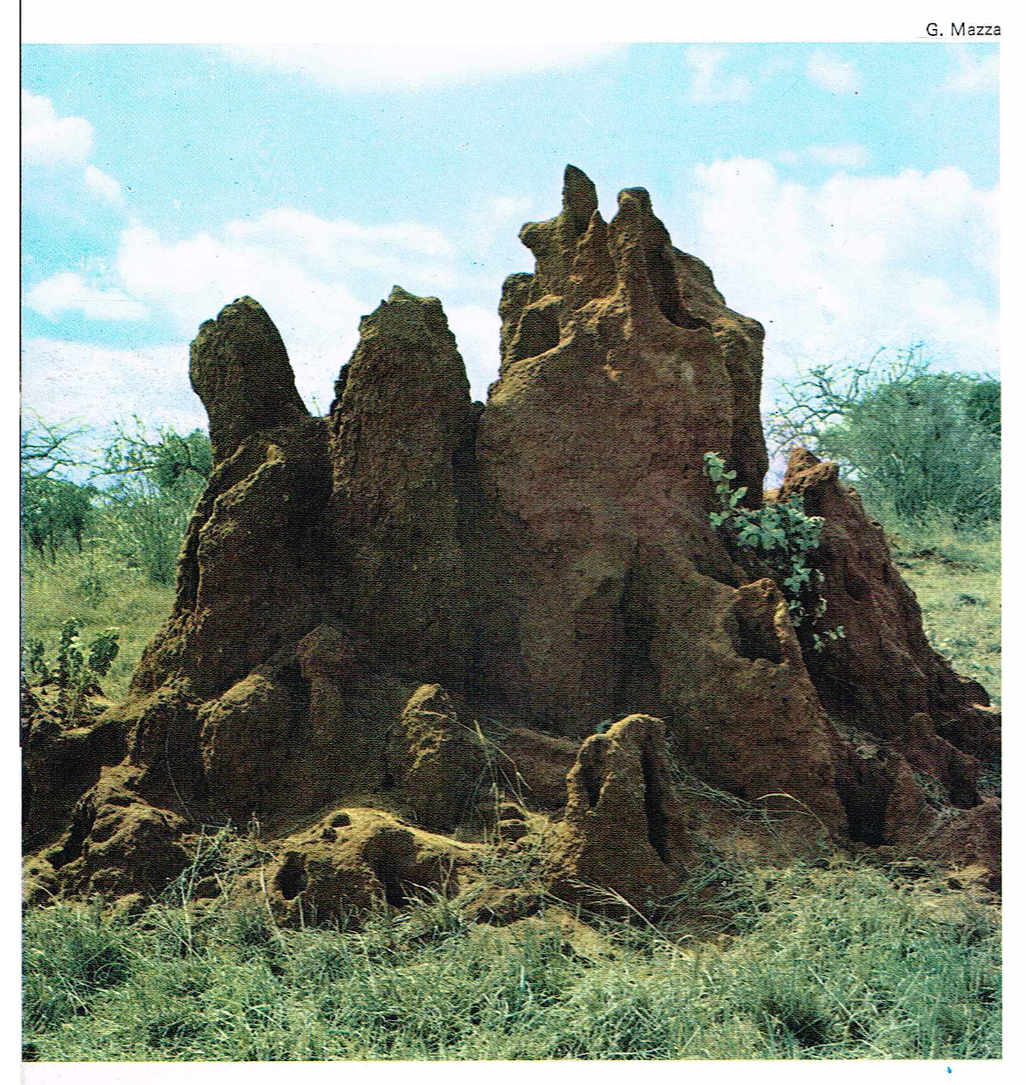
Enfin, les ouvrières ont pour tâche de nourrir les rois et les reines, ainsi que les stades juvéniles des diverses castes, grâce à une nourriture prédigérée, qui est régurgitée de l'intestin antérieur, ou, en certains cas, émise par l'intestin terminal. De cette manière, les juvéniles se voient aussi transmettre en même temps les Protozoaires Flagellés symbiotiques qui existent dans le tube digestif de nombreux Termites, et qui leur sont absolument nécessaires pour pouvoir digérer le bois.

A. Margiocco



Certains individus présentent des caractères particuliers : ce sont les soldats qui ont pour rôle de défendre la termitière contre les incursions d'autres Insectes.

G. Mazza

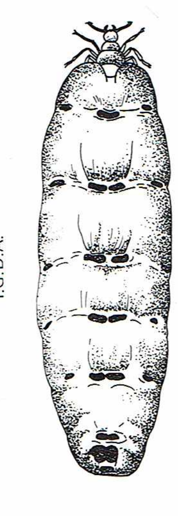


Ci-dessus, une termitière; certaines de ces constructions atteignent parfois 6 m de hauteur. Ci-dessous, la reine avant la ponte des œufs.

Çà et là dans la termitière, et surtout à la périphérie, on remarque des individus à caractères particuliers : ils ont une grosse tête, avec une paire de mandibules pointues si développées que l'Insecte ne peut s'alimenter (souvent, leur tête est aussi grande que le reste du corps), ce qui l'oblige à se faire nourrir par les ouvrières. Il s'agit d'une autre caste d'individus stériles, les soldats. Ceux-ci, comme l'indique leur nom, ont pour rôle de défendre la termitière contre les incursions d'autres Insectes (en particulier des fourmis), ce qu'ils font à l'aide de leurs mandibules et de leur tête, laquelle peut servir à fermer temporairement les trous pouvant s'être formés dans le nid.

Chez certaines espèces de Termites, les soldats ont une tête en forme de poire prolongée à l'avant par une « canule ». Ils sont dits nasutés. Bien qu'ils soient dépourvus de mandibules, ils sont néanmoins redoutables car ils projettent une sorte de résine sur leurs ennemis. On les a comparés à des seringues à injection vivantes.

Ajoutons que les termitières hébergent, en plus des Termites, toutes sortes d'autres Animaux : des mouches, des Coléoptères, et jusqu'à des Oiseaux...



I.G.D.A.

Une fois par an apparaissent dans la colonie des individus ailés; dès qu'ils ont atteint l'âge adulte, ils abandonnent la termitière par des orifices pratiqués par les ouvrières dans les parois. Ces Insectes ailés — qui sont des mâles et des femelles fertiles — s'envolent en grand nombre; après un bref voyage, ils redescendent à terre, où ils forment des couples destinés à créer de nouvelles sociétés, et perdent alors leurs ailes.

Il peut se faire que le roi ou la reine d'un nid, ou même les deux, meurent; en ce cas, la communauté risquerait de périr si les ouvrières n'avaient la possibilité d'élever à tout moment des juvéniles pour en faire des adultes fertiles prenant la place des individus sexués morts. Ces individus particuliers, que l'on reconnaît à des différences morphologiques par rapport aux véritables rois et reines, sont nommés rois et reines de substitution ou de complément.

Mais comment peut-il se faire que naissent des individus des différentes castes en des proportions déterminées, pour maintenir l'équilibre de la termitière ? La question est bien difficile à résoudre, mais on sait aujourd'hui, après avoir écarté la thèse de la différenciation dès le stade de l'œuf, qu'il s'agit d'une différenciation due à des facteurs externes comme la nourriture, et surtout l'ingestion de substances spéciales produites par les Termites eux-mêmes, les phéromones ou hormones externes. C'est ainsi qu'a lieu la régulation sociale de la termitière, c'est-à-dire le maintien d'un rapport déterminé dans les quantités d'individus des différentes castes présentes.

Certains Termites « cultivent » des Champignons. Les loges de leurs termitières renferment des meules constituées de boulettes de bois mâché. Sur ces meules se développent des Champignons qui poussent jusqu'à la paroi de la termitière et, parfois même, la transpercent et émergent à l'extérieur.

Les Termites ne paraissent pas manger les Champignons, mais ils ont avec eux des relations très subtiles. Dans les meules, le mycélium, c'est-à-dire l'ensemble des filaments du Champignon, dégrade la lignine, le constituant principal du bois : il se dégage ainsi de la cellulose, dont s'enrichit la meule.

Les Termites peuvent alors se nourrir de cette cellulose, mais pour la digérer, ils ont besoin de Bactéries qui vivent dans leur intestin.

LES TERMITES EUROPÉENS

Des Termites vivent en Europe, et spécialement en Italie, en Espagne et dans le midi de la France; Pietro Rossi, naturaliste toscan du XVIIIe siècle, décrivit le premier l'une des espèces italiennes et françaises, le Reticulitermes *ou* Termes lucifugus, *vulgairement Termite lucifuge, et fit aussi diverses observations sur la vie de l'Insecte : « Il habite au mois de juin en sociétés, dans des troncs pourris d'arbres forestiers, où j'ai pu voir vivre de nombreux individus ailés en même temps que la masse des individus aptères. » Il existe une autre espèce de nos régions, mais moins commune, le* Calotermes flavicollis *ou Termite à cou jaune.*

Ce dernier constitue des colonies peu nombreuses (il s'agit au maximum de quelques milliers d'individus), qui vivent habituellement dans les parties nécrosées des arbres ou, plus rarement, dans le bois d'œuvre; en tous les cas, seules les parties au-dessus du niveau du sol semblent attaquées. On rencontre fréquemment plusieurs nids dans un seul tronc : on a trouvé douze couples reproducteurs dans un platane, à Naples. Cette espèce ne présente pas d'ouvrières, dont les fonctions sont remplies par les juvéniles de tous âges. Le couple royal provient des individus ailés qui essaiment au mois de septembre.

Le Termite lucifuge, au contraire de l'espèce précédente, forme des colonies souterraines très peuplées, dans les futaies et dans le bois enterré, d'où les adultes essaiment au printemps. Tous ces individus féconds sont cependant perdus, ce qui fait que les reproducteurs observés sous nos climats sont des rois et des reines de substitution.

Les Termites se répandent vite en Europe méridionale, mais ils restent heureusement encore localisés. En France, il en est arrivé au XVIIIe siècle sans doute par des navires, dans la région de La Rochelle et de Rochefort, où ils causent parfois de gros dégâts. Le Termite lucifuge s'attaque au bois d'œuvre, pouvant provoquer, sans qu'on s'en doute jusqu'au moment de l'accident, l'effondrement des maisons. Il en est parvenu jusqu'en Ile-de-France, où certains quartiers de Paris sont menacés, notamment dans le centre et dans le XVIe arrondissement; assez récemment, un gros arbre d'une avenue s'est effondré à cause des Termites. Le Termite à cou jaune s'attaque plutôt aux vieux oliviers. Il est difficile de lutter contre les Termites, leur activité étant silencieuse et insaisissable; lorsqu'on a pu les détecter à temps, l'un des meilleurs moyens de lutte consiste en un traitement au chlore gazeux, par des équipes spécialisées, des nids localisés.

LES VERS A SOIE

Trente siècles avant Jésus-Christ, on exploitait déjà le miel produit par les abeilles ; les procédés étaient toutefois entièrement empiriques, et l'on ne disposait pas des techniques élaborées actuelles. A peu près à la même époque, on fabriquait des étoffes de soie dans la lointaine Chine, ce qui prouve qu'on avait découvert la façon d'élever le Ver à soie.

Si l'on considère que le bombyx du mûrier (Bombyx mori), *papillon de la famille des Bombycidés et dont la chenille produit la soie, n'existe plus sous sa forme naturelle d'origine (sans doute, en son temps, au fin fond de l'Asie), on se rend compte de toute l'œuvre de sélection dont a pu être l'objet ce papillon de la part des Chinois.*

UN PEU D'HISTOIRE

De longues recherches sur l'origine du bombyx du mûrier ont montré que celui-ci doit descendre d'un papillon sauvage, Theophila mandarina, *lui aussi de l'Extrême-Orient. En effet, le bombyx du mûrier se croise avec lui.*

Des histoires plus ou moins légendaires sur la découverte de la soie et sur son utilisation ont été rapportées par les écrivains de l'ancienne Chine. Ce serait l'impératrice Si-Lin-Tchi qui aurait élevé pour la première fois l'Insecte, il y a environ 2 800 ans, soit vers 2600 av. J.-C., et qui aurait découvert la méthode pour filer la soie tirée des cocons. Les dames de la Cour auraient suivi l'exemple de la souveraine ; l'élevage nouveau se serait alors rapidement répandu en Chine et, comme les gouvernants d'alors purent constater quelle source de richesse constituait le commerce des soieries, ils édictèrent de très sévères lois — qui prévoyaient la peine de mort — pour quiconque répandrait hors de l'Empire les secrets de la sériciculture (c'est ainsi que l'on nomme l'élevage du Ver à soie).

De ce fait, la production de soie resta le monopole des Chinois durant plus de 2 000 ans, puis sa technique, au IIIe siècle av. J.-C., se répandit au Japon et en Inde, pour n'arriver en Europe que beaucoup plus tard. En effet, les Romains utilisaient — et appréciaient au plus haut point — la soie, qui leur parvenait par le commerce avec l'Orient, mais ne savaient pas la fabriquer. C'est seulement au VIe siècle de notre ère que deux moines du mont Athos apportèrent de Perse en Grèce — en les cachant dans un bambou creux — des œufs de bombyx du mûrier et des graines de mûrier (dont les feuilles servent de nourriture au Ver à soie).

On put alors entreprendre en Occident l'élevage du Ver à soie, qui se répandit ensuite largement par l'intermédiaire des Arabes dans leur vaste empire. La sériciculture passa par la suite de la Sicile et du Mezzogiorno italien — où l'avaient importée les Musulmans — au reste de l'Italie, puis, vers la fin du XIIIe siècle, en France, dans le Midi et dans la vallée du Rhône. En 1 601, Olivier de Serres fit planter aux Tuileries 20 000 pieds de mûriers à l'intention des Vers. Le climat parisien dut convenir à l'espèce, puisque Ernesta Grisi, la compagne de Théophile Gautier, l'élevait encore près de Montrouge.

Mais c'est surtout dans la région méditerranéenne que prospéra la sériculture, dont l'apogée se situa vers 1850. Ensuite, les magnaneries — c'est le nom des élevages de Vers à soie — périclitèrent : actuellement, il en subsiste quelques-unes dans la région du Gard. Les principales nations productrices de soie sont, dans l'ordre, le Japon, la Chine et l'U.R.S.S. ; les marchés de soie les plus importants sont Canton, Yokohoma et Kobé.

Au siècle dernier, les magnaneries souffrirent d'une maladie, la pébrine, provoquée par un Protozoaire (animalcule à une cellule) du groupe des Sporozoaires, le Nosema. *Ses spores envahissent le Ver, qui se couvre de taches noires.*

Bavestrelli - Bevilacqua - Prato



On voit ici sortir de leurs cocons des Vers à soie du type bombyx du mûrier, papillons blanchâtres au vol lent et pesant.

C'est Pasteur lui-même qui fut chargé de lutter contre la pébrine. Hélas, le grand homme ne connaissait rien aux Insectes, et ce fut Fabre qui l'initia à l'entomologie. Pasteur comprit alors ce qu'il fallait faire. Les spores du parasite gagnant les œufs du bombyx, il suffisait de séparer les œufs sains des œufs malades et d'éliminer ces derniers. C'est ainsi que la pébrine fut jugulée.

LE CYCLE ET L'ÉLEVAGE

Le bombyx du mûrier adulte est un papillon trapu, blanchâtre, à ailes petites par rapport à la taille et le poids du corps, et donc incapable de voler. La vie de



Bavestrelli - Bevilacqua - Prato

Cocon ouvert pour montrer l'intérieur où se transforme la chrysalide.

l'adulte est très brève. Chaque femelle pond en moyenne de 450 à 500 œufs (les « graines », comme on les appelle), qui sont collés les uns aux autres par une substance mucilagineuse à un support fourni par l'éleveur : il s'agit habituellement d'un petit sac de papier ou de toile.

Les œufs proviennent d'établissements spécialisés, pour éviter la propagation de la pébrine et d'autres maladies, ainsi que pour assurer, par le contrôle des croisements, l'homogénéité du point de vue génétique. Le choix se porte sur les papillons qui éclosent des cocons considérés comme les plus sains et les plus riches en soie.

La ponte a généralement lieu à la fin de juin ou au début de juillet, et les œufs sont conservés jusqu'au printemps suivant dans des locaux spéciaux, où ils connaissent une période d'estivation, en passant d'une température de 24 °C à 30 °C en juillet à environ 22 °C à 24 °C à la mi-septembre, époque à laquelle commence le passage à un refroidissement progressif. Les œufs sont ensuite conservés à la température de 10 °C à 12 °C durant une période préhivernale, puis sont portés à une température d'hibernation de 2 °C à 3 °C. Ce dernier stade, qui dure de quatre-vingt-dix à cent jours, est nécessaire pour que le développement embryonnaire puisse se réaliser complètement.

A peu près un mois après le début de l'élevage, commence la phase dite de la « période d'incubation », pendant laquelle les œufs sont portés d'abord graduellement à 15 °C, puis, par des accroissements quotidiens d'environ 1 °C, à 22 °C, température à laquelle débutent les éclosions.

Les larves, blanchâtres et peu actives, mesurent au plus 3 mm de longueur à la naissance. Elles se développent rapidement (en trente jours ou un peu plus) et passent par cinq stades, séparés par quatre mues, pour atteindre une longueur moyenne de 80 mm et un poids de 4 à 5 g. Elles se nourrissent uniquement de feuilles des mûriers, aussi bien du blanc (Morus alba) *que du noir* (Morus nigra) *; on a fait des expériences d'élevage avec d'autres plantes, mais les résultats ont été très décevants, quand ils n'ont pas été nuls.*

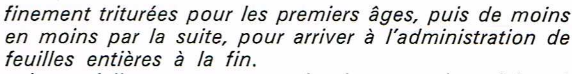
Les larves sont très voraces ; on a calculé que, pour amener au terme de leur croissance un nombre d'entre elles correspondant à 30 g d'œufs (un gramme d'œufs contient en moyenne de 1 400 à 2 000 unités), il faut environ 1 200 kg de feuilles de mûriers, dont environ 700 kg pour le dernier stade seulement.

La sériciculture s'effectue dans des locaux bien aérés : il faut environ 100 m³ d'espace pour 30 g d'œufs de bombyx. L'élevage commence au début du mois de mai. Les Vers sont normalement nourris sur des cailloutis où l'on pose une couche de feuilles de mûriers,

Bavestrelli - Bevilacqua - Prato



Des rameaux sont disposés verticalement et les larves y tissent un entrelacs de fils de soie qui deviendra le cocon.



finement triturées pour les premiers âges, puis de moins en moins par la suite, pour arriver à l'administration de feuilles entières à la fin.

Lorsqu'elles sont matures, les larves — jusqu'alors à moitié endormies sur leurs lits de feuilles — se mettent à ramper activement. Cette phase, dite de la « sortie aux bois » par les sériciculteurs, indique que les larves ressentent le besoin de former leur cocon ; on leur facilite la tâche en disposant verticalement des rameaux de diverses plantes, sur lesquels les Vers se mettent à tisser un entrelacs de fils de soie, qui deviendra peu à peu — pendant les jours suivants — un cocon parfait, à l'intérieur duquel a lieu la transformation en chrysalide.

Au bout de deux semaines, le nouvel adulte éclôt. Mais comme, sauf dans le cas des élevages en vue de la reproduction, le papillon endommage le cocon quand il en sort, on empêche son « éclosion » par ébouillantage dans de l'eau à la température de 80 °C à 85 °C.

Le cocon a une forme et une taille qui varient selon les races ; il est habituellement oblong, parfois rétréci à sa partie médiane, et de couleur blanche, jaune pâle ou dorée ; en certains cas, il est rose ou même verdâtre. Il est formé par un fil continu d'une longueur de 300 m à 1 500 m (et même parfois de 3 000 m) ; on a récemment amélioré le rendement en longueur, à la suite de recherches réalisées au Japon.

QU'EST-CE QUE LA SOIE ?

La partie extérieure du cocon, qui est constituée par des fils lâches disposés irrégulièrement, forme avec une autre couche plus interne la bourre de soie. La partie médiane est la bave de soie pouvant être filée en même temps que celle d'autres cocons (car chacune est très et même trop fine) pour faire le fil de soie grège (ou brute), que l'on tisse ensuite, tel quel ou après diverses transformations et teinture.

Le rendement moyen de 30 g d'œufs de bombyx du mûrier est d'environ 60 kg à 65 kg de cocons (le maximum est égal au double), avec un rendement en soie de 1/9 à 1/10 du poids.

Pour obtenir le fil de soie à partir du cocon, l'« ébouillantage » dont nous avons parlé plus haut est absolument nécessaire, car la chrysalide est ainsi tuée — ce qui évitera la sortie du papillon adulte — et surtout parce que l'un des constituants non utiles de la soie est éliminé (voir l'explication plus loin), grâce à l'addition à l'eau chaude d'une base forte.

Les races de bombyx du mûrier communément élevées dans nos régions n'ont qu'une seule génération par an ; on élève toutefois en Orient des races qui se reproduisent plusieurs fois chaque année.

La soie dont est formé le cocon est sécrétée par la paire de glandes labiales ou séricigènes que possède la larve. Ces glandes sont constituées par une zone sécrétrice, formée par deux longs tubes fins, suivie par une zone médiane, ou réservoir, d'un diamètre nettement supérieur et où s'accumule la soie d'abord liquide. Celle-ci passe ensuite par deux canalicules antérieurs, ou canaux excréteurs, qui se réunissent à la partie sommitale du labium inférieur pour former un unique canal très court débouchant dans la filière.

Le fil de soie est constitué par la coalescence des deux baves, provenant chacune d'une glande, fusionnant dans le dernier tronçon du canal commun, en passant dans une sorte de filière. Là, les baves sont comprimées entre le plafond chitinisé du canalicule et un gonflement musculeux.

Le liquide soyeux se solidifie au contact de l'air et forme un fil d'un diamètre de 15 à 20 µ, léger mais résistant (un fil d'un mètre de longueur supporte un poids de 10 g). Observé dans sa section, ce fil est constitué par deux zones : l'une externe, d'un diamètre de 0,2 mm à 0,25 mm — constituée de séricine — et l'autre interne — constituée de fibroïne. Ces deux matières sont des substances protéiques complexes. La première se dissout dans les solutions alcalines bouillantes, alors que la seconde ne subit pas cette dissolution ; on met donc à profit ces propriétés pour procéder au « dégommage » du cocon, c'est-à-dire à l'isolement de la fibroïne ; cette dernière est ensuite filée, puis tissée : c'est la soie.

LES ABEILLES

L'abeille est l'un des rares Invertébrés à avoir été véritablement domestiqués. Plusieurs peintures rupestres datant de la fin de la préhistoire montrent que sa domestication était déjà ébauchée vers 6000 av. J.-C.; elle ne fut achevée qu'en Égypte, autour de 2600 av. J.-C.

L'apiculture gagna ensuite la Grèce et Rome : hôte de l'Hymette, montagne de l'Attique, l'abeille fut chantée par Virgile, qui lui consacra un chant des Géorgiques. *L'hydromel, boisson faite de miel et d'eau, était alors très prisé.*

Bien d'autres civilisations élevèrent également les abeilles, notamment les pays musulmans, les peuples d'Afrique et les Amérindiens : le miel abondait sur le grand marché de Mexico.

Mais depuis des siècles, l'abeille a aussi retenu l'attention des savants. Ce fut Réaumur qui élucida les grandes lignes de sa biologie. Peu après, le Genevois François Huber effectua des constatations d'autant plus remarquables qu'il était aveugle. En 1901, l'écrivain belge Maurice Maeterlinck publiait sa Vie des abeilles, *où figurent des idées intéressantes. Au cours des dernières décennies, ce sont surtout les travaux de l'Autrichien Karl von Frisch, prix Nobel 1973, qui ont retenu l'attention ; on lui doit la découverte de la fameuse « danse » des abeilles, dont nous reparlerons.*

UNE VIE SOCIALE COMPLEXE

Les abeilles sont des Hyménoptères de la famille des Apidés. Le genre Apis *comprend 4 espèces, dont les noms scientifiques sont* dorsata, florea, indica *et* mellifera *ou* mellifica. *Les trois premières espèces, asiatiques, sont surtout répandues en Inde. L'*A. dorsata *et l'*A. florea *fabriquent des nids à un seul rayon, suspendus aux arbres; ces nids sont gigantesques chez la première espèce (atteignant 2 m), très petits chez la seconde (de 15 à 20 cm). On a tenté de domestiquer aussi l'*A. dorsata, *mais sans succès; c'est une espèce très agressive. L'*A. indica *construit des nids à plusieurs rayons dans des trous d'arbres et de rochers.*

*L'unique abeille actuellement utilisée pour l'élevage est l'*A. mellifica, *dont les différentes sous-espèces sont répandues en Europe, en Asie et en Afrique. Plusieurs d'entre elles, qui sont distribuées, dans la nature, en Europe et en Asie occidentale, ont été introduites par l'homme dans d'autres continents, en particulier en Amérique du Nord.*

Les abeilles comptent au nombre des Insectes sociaux les plus évolués. Leurs sociétés sont constituées par des individus de trois castes : les mâles féconds, les femelles fécondes ou reines, et les ouvrières stériles (qui sont cependant des femelles). Il n'y a qu'une reine par ruche ; elle est plus grande que les autres individus, surtout du fait du développement de son abdomen. Fécondée une seule fois au cours du vol nuptial, elle passe ensuite sa vie à pondre des œufs.

Les mâles, ou faux-bourdons, apparaissent seulement à des périodes déterminées de l'année, à la fin du printemps et en été, et vivent peu de temps; on les distingue facilement à leur forme trapue et à leurs gros yeux.

Les ouvrières, comme nous l'avons dit, sont des femelles stériles, et non des individus des deux sexes comme chez les termites. Ce sont elles qui effectuent tous les travaux nécessaires à la vie de la ruche.

Une société d'abeilles est donc constituée par une seule reine féconde, par des milliers d'ouvrières (dont le nombre atteint facilement 50 000 et jusqu'à 70 000 ou même 100 000 au moment de l'essaimage), et — pendant une brève période à la belle saison — par des faux-bourdons.



Bavestrelli - Bevilacqua - Prato

Les abeilles comptent au nombre des Insectes sociaux les plus évolués.

Les abeilles vivent dans des nids constitués par des rayons, c'est-à-dire par des séries d'alvéoles hexagonaux disposés sur les deux faces d'une surface verticale. Les rayons naturels sont placés dans des sites tels que des creux d'arbres.

En apiculture, les rayons sont placés chacun par l'apiculteur dans un châssis rectangulaire, et sont constitués par une feuille de cire sur laquelle sont estampées de petites cavités; celles-ci constituent la base des futurs alvéoles que construiront les ouvrières.

Sur les rayons, on observe — surtout à la fin du printemps — des alvéoles beaucoup plus grands que les autres, où sont élevées de nouvelles reines. Ces dernières proviennent de larves qui, pendant tout leur développement, sont nourries par les ouvrières avec de la gelée royale, sécrétée par leurs glandes pharyngiennes.

Quand une nouvelle reine est formée, elle va tuer dans leurs cellules les autres reines non encore écloses qui pourraient être ses rivales. Alors, l'ancienne reine part en général avec un nombre voulu d'ouvrières, pour former ce qu'on appelle l'essaim; c'est ainsi que se multiplie ordinairement — par essaimage — une société d'abeilles. La reine nouveau-née sort elle aussi de la ruche, mais pour accomplir son vol nuptial. Quand elle a été fécondée par



Archives P 2



Archives B



Archives B

L'apiculteur vient d'enfumer la ruche afin de pouvoir procéder à la récolte du miel. Ci-contre, les ouvrières sont chargées de la nutrition des larves. En bas, vue en coupe longitudinale de deux aspects de la larve au cours de son développement. A droite de la photo, la forme de la future abeille commence à se dessiner.

un mâle, elle rentre dans la ruche et commence à pondre des œufs (à raison d'un par alvéole), en commençant par les zones centrales des rayons du milieu ; les œufs peuvent être fécondés à son gré (par les spermatozoïdes qu'elle a emmagasinés dans son corps), donnant alors des femelles, ou non, donnant en ce cas des mâles.

LES OUVRIÈRES AU TRAVAIL

Les ouvrières, qui vivent de 4 à 6 semaines pendant la belle saison, effectuent divers travaux. Pendant une période d'environ deux semaines, elles restent à l'intérieur de la ruche et se chargent du nettoyage, de la construction des rayons, et enfin de la nourriture des larves ainsi que de la reine ; cette dernière, en effet, n'a pas le temps de s'alimenter elle-même.

Les ouvrières nourrissent toutes les larves, durant les trois premiers jours qui suivent l'éclosion, avec de la gelée royale ; puis, ce régime spécial n'est prolongé que pour les larves destinées à devenir des reines, alors que les autres sont alimentées seulement avec du miel et du pollen.

Les abeilles les plus vieilles, qui ont plus de 15 à 20 jours, deviennent des butineuses, c'est-à-dire qu'elles sortent à la recherche du nectar et du pollen, et même de l'eau et du propolis, substance résineuse avec laquelle elles bouchent les fentes de la ruche.

Les butineuses sucent le nectar des fleurs ou d'autres substances sucrées, grâce à leur appareil buccal pourvu d'une longue ligula. Les liquides pénètrent dans l'intestin antérieur, plus précisément dans une dilatation spéciale, la bourse à miel, où le nectar subit une première transformation en vue de devenir du miel ; puis le produit est régurgité par les ouvrières, une fois revenues à la ruche, pour être emmagasiné enfin dans des alvéoles semblables à ceux où sont élevées les larves, mais placés généralement dans des zones périphériques.

Le pollen dont l'abeille se charge inconsciemment (mais est-ce bien inconscient ?) en entrant dans les fleurs est récolté par les pattes postérieures, de conformation spéciale : en effet, les tibias de ces pattes sont aplatis et creusés d'une concavité appelée corbeille, entourée par des poils serrés, où le pollen est accumulé par suite des mouvements d'une partie distale de la patte, la brosse, qui possède quelques soies.

UNE DANSE QUI EST UN LANGAGE

Karl von Frisch, comme nous l'avons dit, a découvert un véritable langage chez les abeilles. Pour cela, il lui a suffi d'une montre, d'une règle, d'un rapporteur, de coupelles et, bien sûr, d'une ruche. Il est parvenu à reconnaître individuellement ses abeilles en marquant leur dos d'une goutte de peinture.

Les sources de nourritures mises à la disposition de celles-ci étant des coupelles de sirop, von Frisch remarqua que lorsqu'une abeille revenait de l'une d'elles, distante de moins de cinquante mètres de la ruche, elle exécutait sur un rayon une ronde circulaire ; à chaque tour, elle changeait de sens.

Les autres ouvrières la suivent alors et sentent l'odeur de la nourriture dont est imprégnée l'informatrice, puis elles s'envolent dans toutes les directions ; comme les coupes de sirop ne sont pas loin, elles les trouvent sans difficulté.

Le problème se complique lorsque la nourriture est plus éloignée. Dans ce cas, les abeilles utilisent une danse dite frétillante, car elles agitent en même temps leur abdomen. L'ouvrière décrit deux demi-cercles dont le diamètre est commun : celui-ci fait un certain angle avec la verticale, car cette danse se déroule dans un plan vertical.

Or, cet angle est égal à celui que fait la direction de la source par rapport au soleil, à partir de la ruche bien entendu. Voilà pour la direction de la nourriture.

Reste à indiquer la distance à laquelle elle se situe. L'informatrice la communique en dansant plus ou moins rapidement. Si elle effectue dix tours en quinze secondes, c'est que la coupe se trouve à cent mètres ; si elle n'en fait que six, c'est qu'elle est à cinq cents mètres.

En fait, ce n'est pas tant la distance que l'abeille apprécie, mais l'effort nécessaire pour la parcourir ; ainsi, si elle doit voler vent debout pour atteindre la nourriture, elle indiquera une distance plus forte que le trajet réel.

Selon von Frisch, les abeilles ont donc un véritable langage, l'un des plus évolués du monde animal. Toutefois, ces dernières années, ses thèses ont été discutées. Il n'est pas question de nier la valeur informatrice de la danse : en l'observant, un homme peut découvrir le point qu'elle indique ; mieux encore, et c'est un comble, il y arrive parfois avant les abeilles...

Ce qui est en cause, c'est l'importance que celles-ci accordent à la danse. Pour certains spécialistes, l'odeur de la source de nourriture est suffisante ; la preuve est qu'un sirop inodore n'attire guère d'abeilles... La question en est là. Même si sa portée est à nuancer, la danse frétillante conserve un intérêt capital.

L'APICULTURE

Comme nous l'avons dit, l'exploitation des abeilles, ou apiculture, est très ancienne. Mais on n'a découvert des méthodes rationnelles que récemment, compte tenu de la difficulté d'extraire le miel sans avoir recours au sacrifice, au moins partiel, des abeilles ; cela était dû au fait que les rayons étaient fixes.

L'une des principales découvertes de l'apiculture a donc été l'invention de la ruche à rayons mobiles, dont les premières applications systématiques remontent aux XVIIIe et XIXe siècles. Les ruches modernes, qui permettent d'extraire le miel sans nuire à leurs habitantes, sont constituées par deux séries superposées de rayons verticaux et mobiles ; ceux de la partie supérieure — généralement de taille réduite — constituent les rayons dont on récolte le miel.

Les abeilles nous donnent principalement leur miel, qui est encore l'un des principaux ingrédients utilisés en confiserie ; en second lieu, on exploite la cire. Depuis quelques années, on a commencé à récolter aussi le pollen et la gelée royale, aliments reconstituants de haute valeur.

Aujourd'hui, l'apiculture ne sert plus seulement pour les productions dont nous venons de parler, mais aussi pour l'activité pollinisatrice des abeilles. On sait en effet que, pour différentes raisons, comme la mise en culture quasi totale des sols et l'emploi à grande échelle d'insecticides très toxiques, le nombre des Insectes pollinisateurs a beaucoup diminué, ce qui a compromis la production de diverses cultures fourragères et fruitières puisque la fécondation des fleurs dépend de ces petits collaborateurs.

On a donc pensé à installer des ruches d'abord en Amérique, puis en Europe, à proximité des cultures en fleurs, ce qui a donné des résultats très satisfaisants. A titre d'exemple, des expériences effectuées avec des cultures de luzerne et de trèfle ont permis d'augmenter la production de 3 à 6 fois.

Enfin, les abeilles interviennent en médecine : des injections sous-cutanées de venin d'abeille associé à la novocaïne sont efficaces contre l'arthrite ; quant au miel, il a une action antibactérienne.

SAUTERELLES, GRILLONS ET CRIQUETS

Les invasions de Criquets constituent l'un des pires fléaux naturels qui frappent encore de nos jours certaines régions de la terre. Après le passage des nuages formés par ces Animaux (et qui comptent parfois des centaines de millions d'individus), il ne reste pratiquement rien.

*Dès l'Antiquité, l'apparition des vols de Criquets a été considérée comme une calamité ; il nous suffira de rappeler que selon ce que nous dit la Bible dans l'Exode, la huitième plaie qui aurait frappé l'Égypte pharaonique fut la venue de ces Insectes (sous la XIX*e *dynastie, soit entre 1300 et 1200 av. J.-C.).*

Les Criquets appartiennent à l'ordre des Orthoptères : celui-ci est divisé en deux sous-ordres, les Ensifères, à longues antennes filiformes pouvant dépasser en longueur le corps, et les Cœlifères, à antennes au contraire courtes, assez grosses, et à segments bien distincts. Les premiers comprennent les Sauterelles et les Grillons, les seconds, les Criquets ou Acridiens.

SAUTERELLES ET GRILLONS

Les Ensifères sont presque toujours de grande taille, et leurs couleurs vont du vert brillant au vert-brun. Les femelles ont un long « ovipositeur » en forme de sabre (d'où le nom donné au groupe qui vient du latin ensis, *épée), avec lequel elles pondent leurs œufs dans des Végétaux ou dans le sol.*

Parmi les nombreuses espèces observées dans nos campagnes, la principale est la sauterelle verte (Locusta, ou Tettigonia viridissima) *longue de 3,5 mm, que l'on entend chanter sur les arbres et les arbustes, le soir et la nuit, à la fin de l'été. Le jour, elle se trouve dans les herbes et se nourrit de diverses plantes, même cultivées, et parfois de graines, en particulier celles des capsules des Caryophyllacées ; à l'occasion, elle mange aussi des larves et des Insectes à divers autres stades.*

On trouve plus fréquemment en montagne le dectique verrucivore (Decticus verrucivorus), *plus petit, qui vit dans les pâturages, et qui peut être dangereux quand il se reproduit en grand nombre. Quant au milieu cavernicole, on y rencontre certaines formes ressemblant à première vue à de grosses Araignées, comme les Dolichopodes, Insectes dépigmentés, aptères, et à antennes très développées : celles-ci peuvent mesurer de quatre à sept fois la longueur du corps.*

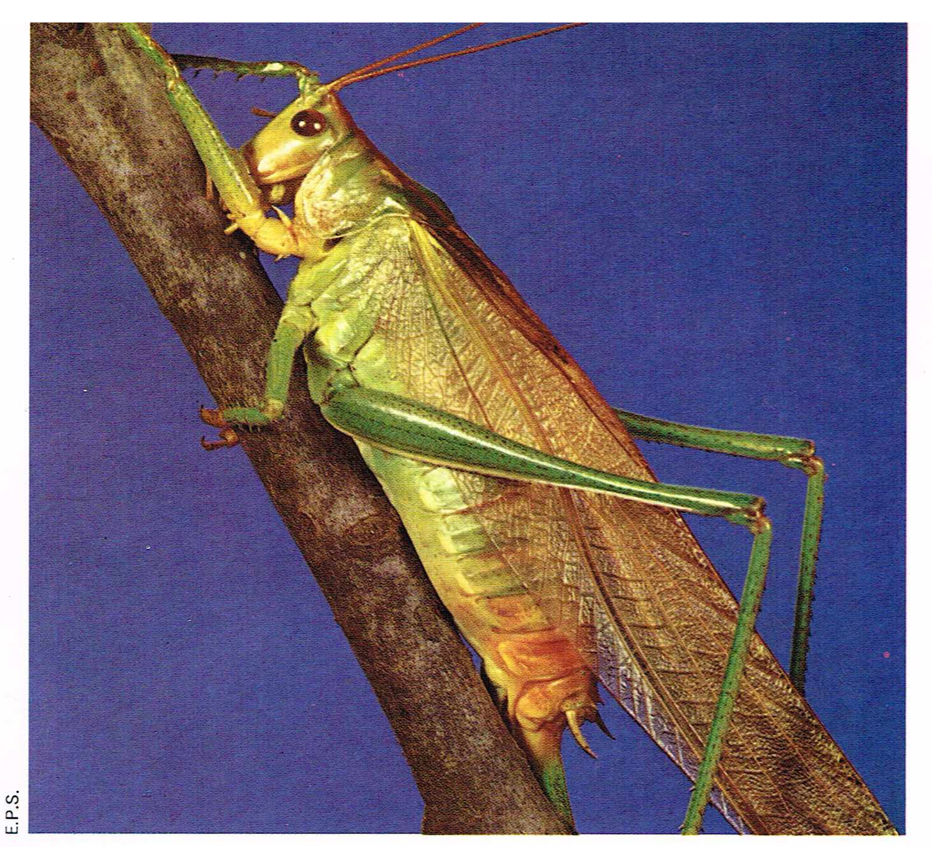
Chez les Grillons, l'un des plus connus est le grillon champêtre, Gryllus campestris, *long de 2 cm, qui vit dans les prés, où il creuse des galeries d'une longueur de 30 à 50 cm, se terminant par une chambre ; celle-ci sert de refuge à l'Insecte en cas de danger, pendant l'hiver et durant les jours de mauvais temps. Les adultes, noirâtres et trapus, sortent de mai à juillet. A cette époque, les mâles émettent leur chant, qui est obtenu par frottement de l'aile antérieure droite, tenue un peu au-dessus de la gauche, et dont le bord interne, dentelé, provoque la vibration des membranes tendues entre les grosses nervures de l'autre aile. Le son est très aigu, car il se forme sous les ailes soulevées et le corps une chambre de résonance, ce qui donne une note unique et répétée environ deux cents fois par minute.*

Le grillon domestique, ou « cri-cri » (Gryllus domesticus), *est plus rare que naguère dans les maisons et les fournils ; il faut cependant noter qu'il regagne actuellement du terrain, et a même investi certaines stations du métro parisien... Il est plus petit et plus fin que le précédent, a des ailes complètement développées et est coloré en brun jaunâtre. Il se nourrit de pain, de pâtes alimentaires, de fruits et de divers autres aliments des maisons. Dans le sud de l'Europe, il a été en grande partie supplanté par le grillon de* Dalmatie, Gryllomorpha dalmatina, *de taille et de couleur semblables, mais facile à reconnaître car il est aptère.*

Les Grillons ont connu la faveur de nombreux peuples. Les Provençaux les gardaient dans des « cages à cri-cris » pour le plaisir de les entendre. Les Chinois les enferment dans des gourdes qu'ils attachent à leurs ceintures, et ils organisent même des combats de Grillons, le vainqueur étant celui qui renverse son adversaire sur le dos... Les petits combattants sont dopés au piment rouge et ont droit à des obsèques officielles.

G. Mazza

Le criquet migrateur, *Locusta migratoria,* une des espèces les plus répandues en Europe.



E.P.S.

Tettigonia viridissima, **que l'on nomme communément la sauterelle verte.**

C'est parmi les Ensifères que se range la courtilière (Gryllotalpa vulgaris), *appelée aussi « taupe-grillon » et dont les caractères morphologiques diffèrent beaucoup de ceux des autres membres du groupe. Elle a subi de nombreuses modifications dues à ses mœurs souterraines : ainsi, ses pattes antérieures sont fouisseuses et lui servent à creuser des galeries dans lesquelles elle vit et se reproduit. On l'observe surtout dans les sols légers et riches en humus. Les imagos apparaissent à la fin du printemps, et les femelles pondent des œufs (au nombre de deux cents à trois cents) dans un terrier constitué par une cavité située à une profondeur d'environ 10 à 20 cm et de la grosseur d'un petit œuf.*

La courtilière se nourrit principalement d'Animaux du sol (Insectes, Vers), mais elle provoque de gros dégâts sur les plantes, car, creusant des galeries en tous sens près de la surface, elle coupe un grand nombre de racines et ronge les tubercules et les rhizomes. La courtilière est, en conséquence, peu aimée : dans certaines régions, assure-t-on, un cavalier descend de cheval pour l'écraser...

Le grillon champêtre, *Gryllus campestris,* long de 2 cm, vit dans des galeries qu'il creuse dans les prés.



I. Bucciarelli

LES CRIQUETS

Ce sous-ordre comprend les espèces les plus nuisibles du point de vue économique. Certaines ne forment pourtant pas de gros essaims.

Tel est le cas du criquet marocain, Dociostaurus maroccanus, *qui a provoqué autrefois de grands dommages dans le sud de l'Europe ; on en a encore noté une grande invasion en Sardaigne, au cours de l'année 1946. Ces invasions risquent beaucoup moins de se renouveler, étant donné que les lieux où il se reproduit massivement, constitués par de vastes surfaces incultes à sol compact, ont disparu en grande partie avec leur mise en culture.*

En effet, cette espèce, ainsi que d'autres, pond les œufs à l'intérieur du sol, dans des oothèques, après avoir fait un trou à l'aide des valves de l'ovipositeur, en en cimentant les parois avec la sécrétion des glandes, qui sert aussi à fermer l'orifice de ponte. Le sud de l'Europe héberge aussi le criquet italien, Calliptamus italicus.

La situation est autrement grave dans les pays de la zone intertropicale, où, malgré les progrès de la lutte antiacridienne, coordonnée par l'« Anti Locust Research Center » de Londres, se produisent encore des invasions périodiques et massives.

Le problème posé par les Criquets dépend du fait que certaines espèces, dont les plus importantes sont le criquet migrateur, Locusta migratoria, *le criquet pèlerin,* Schistocera gregaria, *et quelques autres, peuvent devenir grégaires dans des conditions déterminées.*

A la suite de facteurs complexes, génétiques et écologiques, les individus, qui vivent isolément (phase solitaire), produisent au bout de quelques générations une phase grégaire, laquelle retourne ensuite à la forme solitaire.

Les individus des deux phases diffèrent par leurs caractères morphologiques et biologiques. Il peut y avoir une génération de la forme solitaire pour deux ou trois de la forme grégaire.

UNE LUTTE MONDIALE

Les foyers « grégarigènes » voient naître des larves qui tendent à former des hordes, lesquelles se déplacent d'abord en marchant, et toujours dans la même direction. Rien ne les arrête, ni les cours d'eau, qu'elles peuvent traverser en constituant des radeaux de plusieurs milliers d'individus se tenant les uns les autres, ni d'autres obstacles naturels. Pendant leur développement, elles parcourent de 3 à 20 km, se nourrissant de tous les Végétaux qu'elles trouvent sur leur passage. Plus elles sont nombreuses, et plus elles font de chemin.

Une fois l'état adulte atteint, ces masses s'envolent en formant de gigantesques nuages qui s'abattent de temps à autre sur le sol, où ils détruisent toutes les plantes. Ces déplacements se font habituellement contre le vent, presque toujours le jour, et à une grande vitesse, qui peut atteindre 50 km à l'heure, avec des variations en fonction de la température (lorsque les températures sont hautes, la vitesse augmente) et du vent. Ces nuages évoluent à faible altitude mais montent parfois jusqu'à 150 m : les satellites artificiels permettent de les déceler. Des avions déversent massivement des insecticides sur les vols repérés.

S'il est vrai que les invasions de Criquets sont l'un des pires fléaux pour l'agriculture de certains pays, les populations indigènes mangent depuis longtemps ces Insectes. L'espèce la plus largement utilisée pour l'alimentation est le criquet pèlerin, que certains peuples africains, depuis les Arabes jusqu'aux Hottentots, considéraient comme un don providentiel ; ils s'en nourrissaient après l'avoir fait rôtir et lui avoir ôté ailes et pattes. Les voyageurs du siècle dernier ont raconté que la saveur de cette nourriture riche en matières grasses fait penser aux petits Crustacés ou aux Poissons grillés.

Il existe bien d'autres Criquets, par exemple, les Oedipoda, dont les ailes postérieures sont rouges ou bleues suivant l'espèce. Tous ces Insectes ont de nombreux ennemis naturels, depuis les cigognes jusqu'à une mouche, dont les larves dévorent leurs œufs.

LES INSECTES MIMÉTIQUES

En visitant les salles des musées exposant des Insectes, on est frappé par l'extrême diversité de leur morphologie — parfois bizarre —, de leurs dessins et de leurs couleurs, et on est amené à se demander quelle en est la signification biologique. En de nombreux cas, il n'y a pas de réponse valable ; en d'autres, par contre, on aboutit à la conclusion que certaines structures et couleurs rendent les Insectes « mimétiques ».

La ressemblance qu'ont entre elles des espèces différentes — parfois de groupes très distincts et à comportements souvent antagonistes — a reçu des explications très diverses et très controversées de la part des biologistes ; c'est normal, si l'on considère que de nombreux cas de mimétismes de ce genre ne sont qu'apparents et ne résistent pas à un examen poussé. Mais tout autre est le camouflage, à savoir la ressemblance de l'Insecte avec son milieu naturel, que l'on qualifie d'homomorphisme et d'homochromisme selon qu'il y a similitude de formes ou de couleurs.

FAUSSES FEUILLES ET BATONS DU DIABLE

Parmi les colorations cryptiques, tout le monde connaît bien celles des Lépidoptères ou Papillons et des Orthoptères qui simulent des feuilles.

Chez les Papillons, il n'est pas d'exemple plus parfait d'imitation de ce type que celui qu'on observe pour certaines espèces de Nymphalidés de la région indomalaise appartenant au genre Kallima. *L'Insecte est mimétique lorsqu'il se pose sur une branche et que, fermant ses ailes l'une contre l'autre, il en montre seulement la face inférieure. Les ailes sont arrondies sur les côtés, pointues à la partie antérieure, et prolongées postérieurement en une brève queue qui, appuyée à la branche, ressemble à un pétiole.*

Ces ailes ont des couleurs et des dessins variables ; leur aspect de feuilles sèches est dû à leur teinte brun grisâtre et à la présence d'une raie foncée médiane qui fait penser à la nervure centrale ; en outre, le bord est blanc, ce qui donne du relief, et des dessins obliques simulent très bien des nervures secondaires. La touche finale est donnée par une tache blanche semi-transparente, en raison de l'absence d'écailles, qui évoque une érosion d'un limbe foliaire. Le mimétisme avec le milieu, quand l'Animal est au repos, se retrouve chez de nombreux Papillons de nos régions, par exemple les vanesses, dont la face inférieure des ailes évoque l'écorce ou les feuilles sèches.

Parmi les Noctuidés, les espèces du genre Catocala, *posées, montrent seulement leurs ailes antérieures, de couleur gris marbré très mimétique sur les écorces ; leurs ailes postérieures, rouges ou bleues avec des bandes noires, restent alors cachées.*

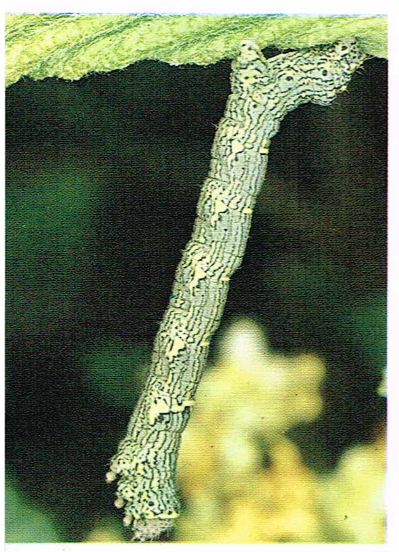
Chez les Géométridés, nombreuses sont les espèces mimétiques et, en certains cas, les formes elles-mêmes mimétiques dans le cadre d'une même espèce : c'est ainsi que Biston betularia *a une forme* carbonaria *complètement noire (alors que le type est marbré blanc et noir) qui disparaît à la vue lorsqu'elle est posée sur les écorces ou autres substratums noircis par les fumées dans les zones industrielles. Cette variété mélanique est plus fréquente, en effet, dans ces régions, mais sa pigmentation est d'origine génétique.*

Il est d'autres Insectes bien connus pour leur mimétisme, les phyllies (Phyllium) *de la région indo-australienne, appartenant à l'ordre des Phasmoïdés, donc proches parents des Sauterelles ; on les nomme aussi localement « insectes-feuilles ». Ce sont des Insectes très aplatis ; leur abdomen peut atteindre des dimensions de 5 cm sur 3 cm, en raison des expansions latérales du tégument. Certaines espèces possèdent de grandes* tegminae *(singulier :* tegmina*) qui, par leur conformation (présence de carènes en forme de nervures) et par leur couleur d'un beau vert uniforme, les rendent pareilles en tout point à des feuilles.*

Il existe aussi chez nous, tout au moins dans le Midi, des phasmes très mimétiques, vulgairement appelés « bâtons du diable ». Nous citerons surtout le bacille de



***Un Insecte mimétique, l'Orthoptère* Microcentrum rhombifolium.**



I. Bucciarelli



I. Bucciarelli

Deux exemples de chenilles** (à gauche, un Géométridé; à droite,* **Addistis tamaricis), se confondant avec les branches sur lesquelles elles vivent.*

Rossi (Bacillus rossii) *et* Clonopsis gallica. *Ces deux espèces ont un corps de forme allongée, caractéristique, parfois très mince (d'un diamètre de quelques millimètres, alors que sa longueur est de 10 cm en certains cas). Elles sont parfaitement dissimulées entre les ramifications des arbustes dont elles mangent les feuilles.*

Certains phasmes exotiques poussent encore plus loin la ressemblance avec des branches de Végétaux, même dans les plus petits détails, grâce à des lobes, des piquants, etc., situés sur le corps et les pattes, imitant des fragments de divers Végétaux, dont les Lichens. Naturellement, le camouflage est rendu plus parfait du fait de l'immobilité dans laquelle se figent les Insectes quand ils se sentent menacés.

DES RAFFINEMENTS EXTRAORDINAIRES

Un autre groupe du monde des Insectes imite de façon peut-être plus parfaite les petits rameaux des plantes qui leur servent de supports; ce sont les chenilles des Géométridés, des Lépidoptères, dont le nom familial est dû à leur mode spécial de cheminement (elles « arpentent » le substratum en rassemblant puis en détendant leurs extrémités, à cause de leur manque de fausses pattes à la partie médiane de l'abdomen). Plusieurs espèces de ce groupe sont brunes et présentent des protubérances simulant des excroissances des écorces ou des bourgeons; ces larves ont l'habitude, au repos, de s'attacher à un rameau seulement par les pattes de l'extrémité de l'abdomen et de garder leur corps rigide et droit, donc selon un angle aigu par rapport à la petite branche, comme un jeune jet. Diverses espèces des genres Selenia *et* Boarmia *habitant l'Europe présentent ces caractéristiques.*

La mante-fleur ou gongyle présente un mimétisme véritablement diabolique : sa tête simule une fleur, portée par une tige qui n'est autre que son thorax très allongé. Abusé par les apparences, un Insecte ne tarde pas à se poser sur la « fleur ». Aussitôt, les pattes ravisseuses de la mante s'en emparent. Quand souffle le vent, elle oscille lentement pour mieux tromper ses futures victimes.

On connaît aussi des homochromies plus compliquées, comme dans le cas de l'« ombre opposée ». Ce phénomène existe surtout chez les Vertébrés et est fondé sur le fait que, lorsqu'un corps est intensément éclairé, les couleurs de la partie frappée par les rayons lumineux apparaissent éclaircies, alors que celles de la partie opposée semblent plus foncées. Ce principe est appliqué chez les Animaux qui ont le corps divisé longitudinalement en deux parties pigmentées différemment (en général, la partie supérieure est plus colorée que la partie inférieure) : quand la lumière les touche, les deux teintes tendent à devenir semblables, et l'Animal se confond avec le substratum, surtout si celui-ci est de la même couleur.

On a observé des cas de ce genre chez les Insectes, par exemple chez les larves du sphinx du peuplier, vert pâle sur le dessus, passant graduellement au vert foncé en dessous. Or, ces larves s'agrippent habituellement aux rameaux à l'aide de leurs pattes postérieures et en position renversée; en conséquence, elles présentent à la lumière la plus intense leur zone inférieure, plus pigmentée : de la sorte, elles sont bien peu visibles, leur relief disparaissant au maximum.

Bon nombre d'Insectes, surtout à l'état larvaire, ont un véritable camouflage qui consiste pour eux à se couvrir de poussière ou de leurs propres excréments mêlés à des débris provenant du milieu ou des exuvies; cela a notamment lieu chez les Coléoptères Chrysomélidés et les Névroptères Chrysopidés.

Dernier type de camouflage : celui des tipules, sortes de moustiques aux pattes démesurées. Quand on fait mine de les saisir, elles oscillent très rapidement sur leurs pattes et, du coup, disparaissent totalement sous le nez de leur ennemi sidéré...

SOSIES ET FAUX FRÈRES

Le deuxième type de mimétisme est celui qui unit deux espèces. On en distingue plusieurs variantes, dénommées d'après les naturalistes qui les ont décrites. Il y a d'abord le mimétisme batésien. Par exemple des mouches de Bornéo ressemblent à s'y méprendre à des guêpes de la même île. Les premières sont inoffensives, alors que les secondes sont venimeuses. Les Oiseaux qui évitent de s'attaquer aux guêpes épargnent, du même coup, les mouches. Autrement dit, les mouches profitent de cette ressemblance.

Le mimétisme mullérien est encore plus subtil. Des Papillons d'espèces différentes se ressemblent curieusement : or, elles ont toutes un goût désagréable. Une telle similitude a son intérêt. Les prédateurs de ces Insectes, qui sont des Oiseaux, apprennent peu à peu à les éviter : cependant, quelques Papillons sont forcément tués au cours de cet apprentissage.

Si plusieurs espèces non comestibles se ressemblent, l'Oiseau doit seulement apprendre à en reconnaître une : il épargnera ensuite les autres, en les confondant avec la première. En définitive, plus les espèces « amères » seront nombreuses à se ressembler et plus les pertes de chacune seront limitées.

Le troisième type de mimétisme entre espèces est le mimétisme « agressif » ou peckhamien. C'est un peu le thème du loup dans la bergerie, mais le loup serait déguisé en agneau. Par exemple, des Diptères, les bombyles, profitent de leur similitude avec les abeilles pour s'introduire frauduleusement dans leurs nids et y déposer leurs larves, qui s'y nourriront de pollen.

En définitive, le mimétisme constitue l'une des armes les plus efficaces dans la dure lutte pour la vie, qui ne connaît nulle trêve.

Autres exemples de camouflage : à gauche,* Homocoryphus nitidulus *sur des Graminées; à droite, le phasme* Clonopsis gallica*, présentant une forme de brindille.

I. Bucciarelli





I. Bucciarelli

LES POISSONS D'ÉLEVAGE

Depuis l'Antiquité, les hommes, désireux d'avoir à leur disposition, sans avoir à les pêcher, des Poissons comestibles, les élèvent dans des bassins. Sait-on d'ailleurs que le mot piscine vient du latin piscis, *Poisson ? En effet, les Romains appelaient* piscinae *les bassins où ils gardaient leurs Poissons.*

Cet élevage des Poissons, ou pisciculture, se réduisit, durant des siècles, à un simple « alevinage », méthode qui consiste à transporter les alevins (jeunes Poissons) et à les lâcher dans les étangs que l'on veut peupler en Poissons.

Au XVIIIe siècle, la méthode de la fécondation artificielle révolutionna la pisciculture. On presse les flancs des Poissons mâles pour qu'ils éjectent leur laitance, c'est-à-dire leur sperme, et on en fait autant avec les femelles pour qu'elles émettent leurs œufs. Ensuite, la laitance et les œufs sont mélangés avec une spatule.

La pisciculture présente actuellement divers aspects. La « cypriniculture » est l'élevage de la carpe et de quelques autres Cyprinidés, comme la tanche. La « trutticulture » s'adresse aux truites, saumons et Poissons apparentés. L'aquaculture, ou mariculture, est une nouveauté : c'est l'élevage de Poissons marins, bars, turbots ou soles par exemple ; en plein essor au Japon, l'aquaculture commence à apparaître sur les côtes d'Europe.

Mentionnons encore l'élevage des Poissons mangeurs de larves de moustiques, les gambusies, que l'on importe dans les régions où sévit le paludisme. Quant à l'aquariophibie, elle est dépourvue de tout but utilitaire : c'est l'élevage des Poissons d'aquarium, extrêmement variés ; le plus classique d'entre eux est le poisson rouge, variété du carassin ordinaire ; il appartient, comme la carpe, à la famille des Cyprinidés.

LA CARPE

La carpe est le type de la famille des Cyprinidés, Poissons au corps ovale et à une seule nageoire dorsale ; leur bouche, parfois entourée de barbillons, n'a pas de vraies dents, mais seulement des dents « pharyngiennes » situées dans le fond de la bouche. Les Cyprinidés habitent les eaux douces des régions basses : on les appelle vulgairement « Poissons blancs ».

De très nombreuses espèces vivent en Europe : citons le carassin, le barbeau, le goujon, la tanche, le vairon, la bouvière, le rotengle, le gardon, le chevaine, la vandoise, la brême, l'ablette, etc.

La carpe (Cyprinus carpio) *fréquente à l'état naturel les étangs et les lacs peu profonds et chauds, riches en végétation aquatique, ainsi que les canaux et les anses tranquilles des rivières de plaine. Elle a une prédilection pour les zones à fond vaseux, plutôt que pour les eaux rapides et limpides. Ses bonds hors de l'eau — les sauts de carpes — sont bien connus.*

Pour chercher sa nourriture, elle plonge sa bouche dans la vase, et capture des Vers et des Mollusques ; elle ne dédaigne pas les détritus organiques de tout genre. Sa bouche, aux lèvres charnues et protractiles, est pourvue de quatre barbillons pendant de la lèvre supérieure, qui font fonction d'organes tactiles, surtout pour la recherche des aliments.

La carpe, à l'état naturel, présente toute une diversité de couleurs, et la gamme de sa livrée est encore plus vaste en élevage. Elle est normalement brune sur le dos, gris jaunâtre sur les flancs avec des reflets dorés, et est tachetée de foncé sur ses écailles ; elle peut présenter des dominantes très nettes, ce qui fait qu'il en existe des formes dites carpe verte, carpe rose, carpe bleue et carpe dorée. Ces couleurs dominantes peuvent être conservées dans les élevages, grâce à la sélection artificielle.



T. Mondi

La carpe présente toute une diversité de couleurs ; c'est un Poisson d'élevage très recherché.

Grâce à celle-ci, l'élevage produit diverses variétés de carpes, qui ont non seulement de belles couleurs, mais aussi et surtout sont appréciées pour leur chair ; ce sont celles que les carpiculteurs de l'Europe centrale appellent carpes nobles. Il s'agit d'individus qui, par rapport aux spécimens sauvages, atteignent une taille et un poids importants, ont une tête réduite, et présentent un tronc très musclé, donc fort charnu.

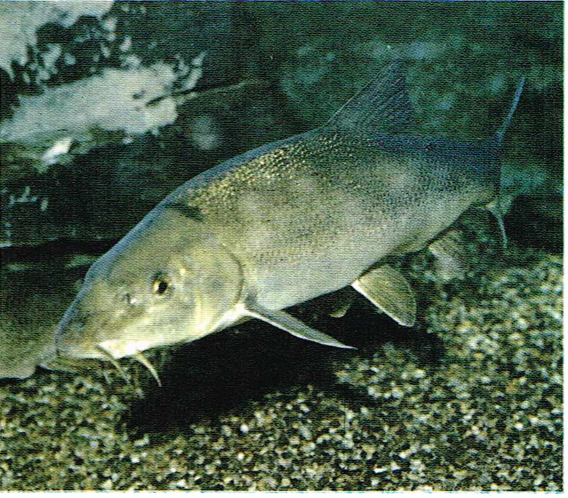
Aux qualités que nous venons de citer s'ajoutent des modifications de la forme et de la disposition des écailles ; ainsi, à côté de la carpe commune d'élevage, entièrement couverte d'écailles, mais améliorée par les pisciculteurs pour la forme et la qualité de la chair, on compte la carpe à miroir, et la carpe cuir (ou carpe nue).

Chez la première de celles-ci, les flancs, le dos et le ventre portent seulement quelques écailles, beaucoup plus grandes que chez la carpe commune, alors que de vastes régions de ses flancs sont totalement nues. C'est pourquoi cette variété a reçu le nom de carpe à miroir, à cause de ses grandes et brillantes écailles. La carpe cuir



A. Margiocco

Les tanches se plaisent particulièrement dans les fonds vaseux et calmes des étangs.



A. Margiocco

Le barbeau, bien qu'il soit moins recherché que la carpe et la truite, est aussi un Poisson d'élevage.

a le corps presque totalement dépourvu d'écailles : seules certaines d'entre elles restent aux points d'attache des nageoires.

La carpe est facile à élever : nous n'en voulons pour preuve que son introduction dans les rizières d'Italie, où elle trouve de la nourriture en abondance et la température idéale pour sa croissance. Sa reproduction est annuelle et s'effectue à la fin du printemps ou au début de l'été, quand la température du bassin où elle vit dépasse 20 °C. Les femelles pondent un très important nombre d'œufs (jusqu'à 150 000 par kg de poids corporel) ; ils sont transparents et leur diamètre ne dépasse pas 1,5 mm : ils s'attachent aux objets immergés. Cette fécondité est un grand avantage pour l'éleveur, outre le peu d'exigence en oxygène de ce Cyprinidé, qui peut vivre dans des eaux longtemps stagnantes. Les œufs donnent des alevins moins d'une semaine après la ponte. Ceux-ci ne mesurent guère plus d'un centimètre à la naissance ; mais ils doublent de longueur en quelques jours, se mettent à chasser activement les organismes microscopiques des eaux de l'élevage et croissent pendant tout l'été. Ils connaissent une sorte de léthargie hivernale, au fond de bassins spéciaux d'hivernage, puis recommencent à grossir au printemps et pendant l'été suivants ; enfin, étant devenus des alevins du deuxième été, ils servent à ensemencer de nouveaux bassins d'élevage.

La taille moyenne des carpes est de 25 à 50 cm ; toutefois, ce n'est pas là une longueur maximale en captivité : les femelles reproductrices atteignent pour leur part une longueur de 50 à 80 cm, pour un poids de 4 à 15 kg. La longévité des carpes, souvent exagérée (à Fontainebleau, par exemple...), ne paraît pas dépasser quarante-sept ans, la moyenne étant de vingt ans.

La truite arc-en-ciel est la variété de truite la plus répandue dans les élevages.

G. Mazza

LA TRUITE

L'élevage de la truite se fait selon des méthodes qui diffèrent totalement de celles de la carpiculture. La truite appartient, comme le saumon, à la famille des Salmonidés. Cette famille, qui groupe encore l'omble chevalier, l'ombre et le lavaret, se caractérise par la petitesse des écailles, l'absence de barbillons et la présence d'une seconde nageoire dorsale.

La truite autochtone en Europe est la truite de rivière (Salmo trutta), *beau Poisson long de 50 à 85 cm, aux taches noires, rouges ou bleues : son aspect est en effet variable.*

Contrairement à la plupart des Poissons d'eau douce, la truite se reproduit au cours de l'hiver. Ce fait a une signification biologique précise, liée aux nécessités respiratoires de l'espèce, surtout pendant la période de reproduction : en effet, lorsque la température est basse, la teneur de l'eau en oxygène est maximale.

Les œufs de la truite, volumineux (ils mesurent 0,5 cm de diamètre), sont pondus sur les graviers du fond ; ils contiennent une grande quantité de matières de réserve et sont toujours pondus en nombre inférieur à celui des œufs de la carpe (soit de 500 à 2 000 par kg de poids corporel de la femelle).

L'éclosion a lieu, dans les conditions naturelles, au bout d'environ deux mois : les alevins naissent à peu près inertes, transparents, et possèdent encore un volumineux sac vitellin, qui leur sert, au début, à se nourrir.

Le principe de la « trutticulture » est le suivant. Des truites mâles et femelles sont capturées, puis leurs produits génitaux sont mélangés selon le procédé que nous avons décrit. Les œufs fécondés sont ensuite placés dans des boîtes en matière plastique percées de trous, au nombre de deux mille par boîte.

Ces boîtes sont enfouies dans les frayères naturelles : ainsi, quand les alevins en sortent, ils se trouvent dans des conditions écologiques favorables. Ces boîtes sont appelées « boîtes Vibert » du nom de l'ingénieur des Eaux et forêts qui les inventa. Elles sont transportées par avion à travers le monde et utilisées pour le repeuplement en truites.

La même méthode est appliquée aux saumons et aux brochets. On a introduit en Europe la truite arc-en-ciel (Salmo irideus) *des États-Unis, à livrée chatoyante ; des boîtes pleines d'œufs de cette espèce ont été déposées dans des rivières d'Europe, mais les truites arc-en-ciel ainsi importées finissent par se volatiliser.*

La trutticulture aboutit parfois à des pratiques regrettables. Des rivières ou des bassins bourrés de truites sont mis à la disposition de « pêcheurs » qui les capturent à qui mieux mieux. Ils sont sûrs d'éviter la bredouille, mais où est le sport ?

LES POISSONS MIGRATEURS

Lorsque passent dans le ciel les vols d'Oiseaux migrateurs, on ne pense guère que le même phénomène a lieu, presque selon les mêmes modalités, sous la surface de la mer et des cours d'eau.

Là, des bancs de Poissons, encore plus serrés que les troupes d'Oiseaux, se déplacent le long de chemins fixés depuis des siècles, poussés par un besoin impérieux, celui de la reproduction.

LE THON

Le thon (Thynnus thynnus) *se trouve normalement éparpillé, dans les profondeurs et au large, par exemple en Méditerranée. Au printemps, il se rassemble avec ses pareils et, après un voyage très rapide, réapparaît le long des côtes de l'Afrique du Nord, de la Sicile, de la Sardaigne et du sud de l'Italie.*

La surface de la mer fourmille alors d'individus sexuellement mûrs qui sont appelés justement, à cause de la vitesse de leurs déplacements, des « thons de course »; ceux-ci font de rapides incursions vers la côte. C'est sans doute le besoin de chaleur, lors de la maturité sexuelle des Animaux, qui provoque ces déplacements en masse vers les eaux superficielles et côtières : là, en effet, ces Poissons trouvent la température idéale pour leur reproduction : de 18 à 20 °C.

Les thons adultes sont particulièrement agités, comme c'est le cas pour presque tous les Poissons pendant la période qui précède la ponte ; en outre, ils ne se nourrissent presque pas.

Les œufs ayant été pondus et fécondés le long du littoral, pendant toute la seconde moitié de l'été, les thons, fatigués, vont ensuite au large, s'isolent et disparaissent en profondeur.

LE HARENG

Le hareng (Clupea harengus), *autre Poisson migrateur, est abondant dans les mers d'Europe septentrionale. Son comportement est très proche de celui du thon. Parmi ses différentes races, celle de la mer du Nord parcourt graduellement cette mer, du nord au sud, du printemps à l'automne, en allant, pour s'y reproduire, près des côtes méridionales de la péninsule Scandinave.*

Les jeunes refont à l'envers le chemin qu'ont fait leurs parents, en regagnant le Nord, à plus de 1 000 km.

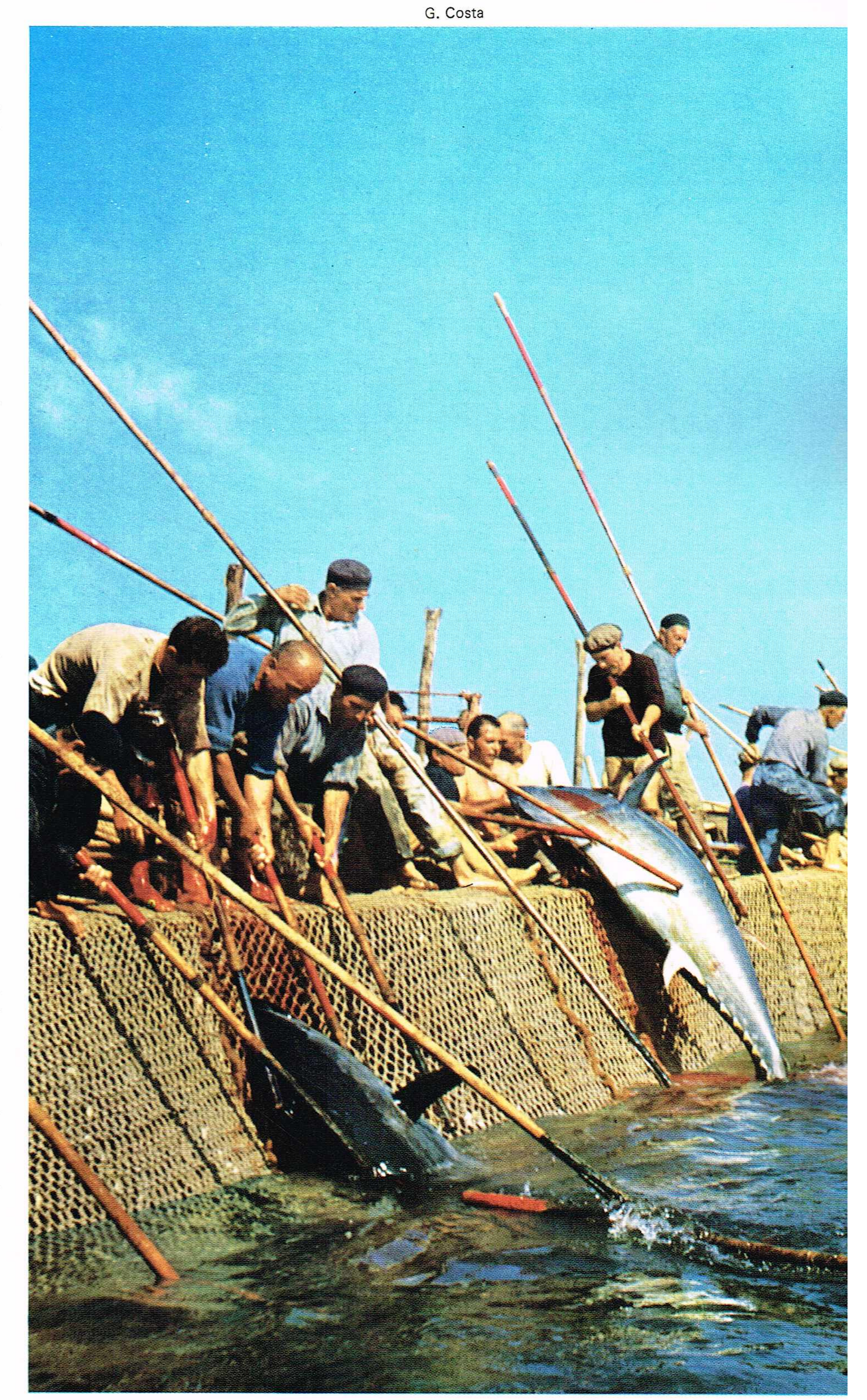
L'ANGUILLE

Les migrations de l'anguille (Anguilla anguilla) *sont bien différentes de celles du thon et du hareng, qui n'abandonnent jamais la mer pendant toute leur vie. Elle naît en pleine mer, pénètre dans les cours d'eau, les remonte, y devient adulte, puis redescend en mer pour s'y reproduire.*

Tout le monde connaît l'anguille, ne serait-ce que pour la saveur de sa chair. Elle a une tête petite et une grande bouche armée de dents robustes. Une longue nageoire parcourt presque en entier son dos et son ventre. Son corps très allongé, un peu comme celui d'un serpent, est entièrement couvert de minuscules écailles visqueuses, qui ne se développent complètement qu'à l'âge de six ans. L'anguille a une distribution très vaste, de l'Afrique du Nord aux eaux froides du nord de l'Europe.

Jusqu'au début du siècle, on ne savait pas où l'anguille se reproduisait. C'est le Danois J. Schmidt qui reconstitua patiemment le chemin suivi par les jeunes anguilles, en

G. Costa



Une des phases de la pêche au thon le long des côtes en Méditerranée.



A. Margiocco

Un groupe d'anguilles; leur tête est petite et leur corps allongé comme celui d'un serpent.

effectuant de nombreuses pêches dans l'océan Atlantique, depuis l'Europe jusqu'à l'Amérique, pour trouver des spécimens de plus en plus petits.

C'est ainsi qu'il découvrit que les larves éclosaient de l'œuf en un point très proche des côtes américaines, dans la mer des Sargasses, au sud-est des îles Bermudes : elle est ainsi nommée parce qu'elle est encombrée d'Algues appelées sargasses.

C'est donc dans la mer des Sargasses que les adultes se rendent, se reproduisent et meurent. C'est de là que partent de petites larves, en forme de feuilles de saule, presque totalement transparentes, les leptocéphales (ce qui signifie « à tête mince »). Les leptocéphales sont entraînés par le Gulf Stream, et, après un voyage d'environ trois ans à travers l'océan Atlantique, à raison de 7 à 8 km par jour, touchent aux côtes européennes, après avoir peu à peu grossi.

Ce sont alors de petits Poissons cylindriques, longs de 8 à 10 cm. On les nomme civelles ou piballes. Les civelles arrivent donc sur les côtes atlantiques de l'Europe, et une partie gagnent même la Méditerranée par le détroit de Gibraltar. Elles deviennent, après s'être abondamment nourries, des anguilles « de montée », qui ont pris une couleur sombre : elles franchissent en masse les estuaires des fleuves, pour se rendre dans les eaux douces. On en pêche alors une certaine quantité.

Les anguilles remontent donc les rivières, irrésistiblement poussées à passer les obstacles naturels les plus difficiles : elles n'hésitent même pas à sortir de l'eau et, traversant les prés humides pendant la nuit, à se rendre dans les mares, les étangs et les marais. Si un barrage se dresse sur leur route, elles grimpent sur ses parois en s'y collant.

Ayant atteint leur longueur maximale, la même force qui les avait poussées à gagner les cours d'eau les ramène de nouveau en automne à la mer. Cette impulsion migratoire est due, chez l'anguille, comme chez les autres Poissons migrateurs, à l'action de la thyroïde, glande qui sécrète une hormone stimulante.

Pendant la descente vers la mer, l'anguille adulte acquiert sa livrée nuptiale : son dos, vert grisâtre, prend une teinte métallique, et son ventre passe du gris jaunâtre à l'argenté. C'est ce qui fait qu'on l'appelle alors anguille argentée.

Ayant redescendu les rivières jusqu'aux côtes où elles étaient arrivées toutes jeunes, les anguilles, désormais adultes, gagnent l'océan et nagent vers la mer des Sargasses. Elles s'y reproduisent et, vraisemblablement, y meurent.

Si l'anguille est empêchée d'effectuer sa migration, l'activité de sa thyroïde cessant au bout d'un certain temps, elle continue à grossir démesurément ; ce phénomène est exploité à des fins commerciales : les anguilles femelles, mises en viviers et destinées à la consommation, atteignent une taille énorme.

LE SAUMON

Les voyages du saumon, qu'il soit européen ou américain, se font en sens exactement inverse de celui que suit l'anguille, bien que ce soit pratiquement selon les mêmes modalités. Le saumon passe lui aussi de la mer aux rivières, stimulé par la sécrétion interne de sa thyroïde.

Le saumon naît et grandit dans les eaux fraîches, limpides et bien oxygénées des torrents de montagne. Quand sa thyroïde commence à fonctionner, le Poisson s'abandonne à la force du courant et, passant des torrents aux rivières de plaine, arrive en mer encore jeune. Il s'éloigne ensuite à des centaines de kilomètres du littoral et, après environ un an de séjour en mer, s'étant nourri activement, il devient adulte.

En automne et en hiver, les saumons adultes, véritables géants pesant parfois plus de 10 kg, reviennent à l'embouchure des fleuves. Le besoin d'eau douce les pousse à monter le plus possible en amont ; ils sautent à rebours les cascades, insouciants de la force des courants, et négligeant totalement de se nourrir. Après bien des fatigues et des dangers, ils retrouvent très exactement les zones des torrents de montagne où ils sont nés. Les adultes se reproduisent donc où ils ont vu le jour. Dans certaines régions, des « ascenseurs » ont été établis pour les aider à franchir des barrages.

La plupart des saumons, épuisés par le voyage de remontée et par la ponte des œufs, meurent ensuite. Mais les plus robustes arrivent à résister et retournent en pleine mer, où ils recouvrent leurs forces, et se préparent à un nouveau voyage en vue d'une nouvelle saison de reproduction. Le saumon de l'Atlantique (Salmo salar), *par exemple, peut effectuer sa migration trois ou quatre fois dans sa vie, à des intervalles de deux ans.*

UNE ORIENTATION PRODIGIEUSE

Comment les Poissons migrateurs s'orientent-ils ? La question n'est que partiellement résolue. Dans le cas du saumon, c'est l'odorat qui intervient. En effet, des saumons auxquels on a bouché les narines ne parviennent pas à retrouver leur torrent natal et tournent en rond, désemparés.

C'est donc une substance odorante qui les guide : mais celle-ci est-elle sécrétée par les saumons eux-mêmes, ou est-elle minérale ? La question reste posée. En tout cas, l'odorat de ces Poissons est remarquable : ils réagissent lorsque 40 l d'eau de leur rivière sont versés dans un vivier de 1 800 l !

Toutefois, cet odorat est-il suffisant quand le saumon croise en pleine mer ? Peut-il lui permettre de retrouver, depuis le lointain cercle polaire, la « bonne » embouchure de la côte basque ? Toutes les hypothèses sont envisagées, depuis le rôle de la température jusqu'à celui du soleil en passant par l'action des courants. Peut-être des « corridors » chimiques existent-ils dans les océans et facilitent la tâche des saumons.

Le problème est le même pour l'anguille. Son odorat est également prodigieux, de l'ordre de celui du chien. Si l'on diluait, dans une masse d'eau cinquante-huit fois plus grande que celle du lac de Constance, une quantité de parfum de rose équivalant à un dé à coudre, une anguille le sentirait... Mais dans quelle mesure son odorat peut-il lui servir pour trouver la mer des Sargasses ou les côtes européennes ? Il est encore impossible de répondre.

LES POISSONS D'AQUARIUM

De tous les Poissons d'aquarium, le plus banal est le poisson rouge (Carassius auratus), *qui est une variété domestique du carassin ordinaire. Ce sont les anciens Chinois qui l'ont élevé les premiers, parvenant, au prix d'une patiente sélection, à obtenir de bizarres variétés : queue-de-voile, yeux télescopés.*

En Grèce, le poisson rouge fut consacré à Aphrodite : son autre nom de cyprin doré vient d'ailleurs de Κύπρις, *surnom de cette déesse de l'amour. La vogue de ce Poisson se répandit au XVII*e *siècle à travers l'Europe. Ajoutons que plusieurs contes des Mille et Une Nuits le mettent en scène.*

L'aquariophile débute parfois par quelques poissons rouges, mais souvent veut ensuite peupler son aquarium d'espèces plus originales. Il est impossible de les citer toutes, mais certaines méritent une mention spéciale. Par exemple, le Danio rerio (Brachydanio rerio) *: ce petit Poisson, long de 3 à 4 cm, présente des bandes longitudinales blanches et noires alternant, ce qui l'a fait aussi appeler poisson-zèbre. C'est une espèce qui se reproduit facilement en captivité. On n'oubliera pas cependant que, lorsque la femelle a l'abdomen tout rond, il est temps de l'isoler dans un autre récipient en verre, avec deux ou trois individus du sexe mâle.*

On pourra alors observer la ponte de minuscules œufs, qui tombent entre les feuilles des plantes aquatiques du fond. Après avoir ôté les reproducteurs du bac où on les avait isolés, il n'y a plus qu'à attendre deux jours pour voir naître les alevins, qui seront au nombre de 150 à 200 au bout de quatre jours, nageant et commençant à se nourrir des micro-organismes présents dans l'eau.

LE COMBATTANT SIAMOIS ET LE GUPPY

L'aquarium abritera peut-être un spécimen de mâle de Betta splendens, *le célèbre combattant siamois, originaire du Siam, qui possède de larges et longues nageoires colorées. Il est impossible de garder deux mâles de cette espèce dans le même aquarium, car l'un des deux serait immanquablement destiné à être tué par l'autre. Au Siam, ces Poissons servent à des combats où l'on engage les paris. Mais un aquariophile normal est en même temps un protecteur de la nature, et il ne pourrait se repaître de spectacles cruels. On pourra toujours montrer à ses amis amusés comment le combattant se rue sur sa propre image, quand on lui présente contre une glace de l'aquarium un petit miroir. Quant à la femelle du Betta, elle est moins jolie que le mâle et par conséquent moins demandée.*

Mais, si le mâle fait sortir des bulles d'air de sa bouche, cela veut dire qu'il a le mal d'amour. Il sera alors bon de lui procurer une femelle, prête à pondre, et de mettre le couple dans un bac à part, sans aucun autre Poisson, bien entendu. On assistera en ce cas à un curieux spectacle : le mâle prépare un nid à la surface de l'eau, en émettant par la bouche d'innombrables petites bulles d'air entourées d'une sécrétion muqueuse particulière. C'est sous ce nid que le mâle fait la cour à sa compagne et l'entoure de temps en temps de son propre corps en lui pressant légèrement l'abdomen, de façon à lui faire pondre quelques œufs, fécondés ensuite en tombant au fond. Les parents recueillent alors les œufs avec leur bouche et les introduisent dans le nid flottant. Enfin, le mâle chasse la femelle, et dès lors, jour et nuit, il veille sur le nid en produisant de nouvelles bulles pour remplacer celles qui disparaissent peu à peu.

On trouve aussi fréquemment dans les aquariums le guppy (Lebistes reticulatus), *espèce dont le mâle, plus petit que la femelle, est très coloré et présente une grande variété de dessins, tandis que la femelle est à peu près non pigmentée. Alors que la majeure partie des autres espèces est ovipare (c'est-à-dire que leurs femelles pondent des œufs), cette espèce est ovovivipare : les femelles conservent les œufs fécondés dans leur abdomen et mettent directement au monde des alevins. La nourriture de la mère doit donc être abondante, afin qu'elle ne mange pas ses propres petits dès qu'ils naissent.*

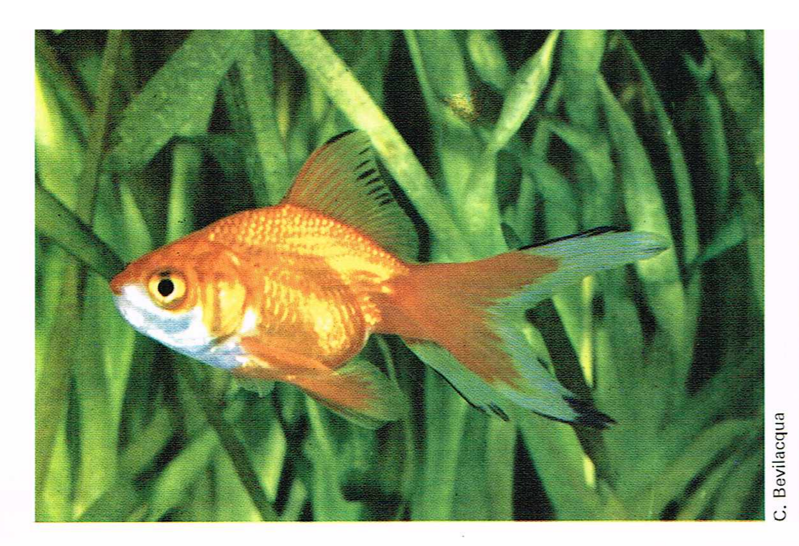


D. Faulkner

Les aquariophiles reproduisent souvent avec beaucoup d'exactitude les milieux dulçaquicoles ou saumâtres, d'après des observations *in situ*. Ci-dessus : groupe de barbiers *(Anthias sp.)*, espèces originaires des océans Indien et Pacifique (dans leur partie tropicale) et de la mer Rouge.

LE TÉTRODON VERT ET LE NÉON

Le tétrodon vert (Tetraodon fluviatilis) *est un intéressant et sympathique Poisson d'aquarium, de couleur jaune canari, avec de nombreuses taches noires. Quand il a peur, il se gonfle et devient rond comme une balle ; on peut le faire gonfler en l'ôtant avec un filet de l'aquarium et en le posant délicatement sur la paume de la main : immédiatement, le Poisson se gonfle démesurément, au point que, remis dans l'eau, il flotte l'abdomen tourné en haut jusqu'à ce qu'il ait éliminé l'air qu'il*





A gauche : cyprin doré *(Carassius auratus),* le plus répandu des Poissons d'aquarium. A droite : le combattant siamois *(Betta splendens),* originaire de la Thaïlande, est remarquablement beau.

avait avalé, avec un léger sifflement, pour recommencer à nager en équilibre hydrostatique.

Parmi les petites espèces, qui ont pour seul inconvénient de ne pouvoir cohabiter avec de trop gros Poissons qui les dévoreraient, nous citerons le néon (Hyphessobrycon innesi). *Le nom vulgaire de cette espèce vient de ce qu'il semble luminescent : cela est dû à une bande longitudinale bleue qu'il porte et qui reflète fortement la lumière, ainsi qu'à la couleur rouge vif du quart inféro-postérieur de son corps.*

Il est des Poissons qui vivent continuellement au fond, où ils se nourrissent de détritus et de particules alimentaires que n'ont pas mangées d'autres pensionnaires : c'est ce qui les fait nommer fouilleurs. Nous citerons parmi eux le Corydoras agassizi, *de livrée bleu acier, avec des dessins rappelant ceux de la peau du léopard. Ce fouilleur passe la journée à fouiller dans les gravillons, à la recherche de nourriture : c'est un très utile collaborateur pour l'aquariophile, étant donné qu'il ingère bien des détritus qui sans cela, se décomposant, pourraient polluer l'eau.*

Le scalaire (genre Pterophyllum), *au corps aplati latéralement et aux longues nageoires, est l'un des hôtes les plus majestueux des aquariums. Il est rayé de barres sombres verticales. Il est si peu épais qu'il devient presque invisible lorsqu'il est vu de face...*

L'AQUARIUM TROPICAL

Les Poissons tropicaux marins sont aussi fort intéressants, mais nous avons évité d'en parler, du fait qu'il faut d'abord avoir, pour les élever, une bonne expérience des Poissons d'eau douce.

Nous indiquerons toutefois de quelle façon on doit préparer un aquarium tropical. En premier lieu, il faut un petit aquarium peu encombrant ; ensuite, si l'on désire en posséder un plus grand, le premier sera toujours utile comme bac de reproduction ou d'élevage des alevins.

Sur le fond, on disposera une couche de 5 à 10 cm de sable grossier, bien lavé. On y posera quelques pierres (galets, schistes, etc.), puis on remplira d'eau l'aquarium. Ensuite des plantes aquatiques seront fixées au fond, par leurs racines, et on laissera reposer le tout pendant au moins 8 à 10 jours : ainsi, d'éventuels parasites des Poissons auront le temps de mourir. L'aquarium, sans autres accessoires, doit être installé en un endroit où il recevra une quantité suffisante de lumière, indispensable pour les plantes aquatiques. Durant l'hiver, il doit être rapproché d'un radiateur de chauffage central, par exemple, de manière que la température de l'eau soit toujours de 20 à 25 °C. Malgré la simplicité d'une telle installation, on peut élever des Poissons robustes ou peu sensibles aux variations de température et d'oxygénation.

On administrera tous les jours aux pensionnaires la quantité voulue de nourriture (notamment des daphnies séchées), qui devra être mangée en l'espace de 10 à 15 mn ; puis on ôtera avec un siphon en verre l'éventuel excédent d'aliments. Il ne faut jamais donner de pain aux Poissons.

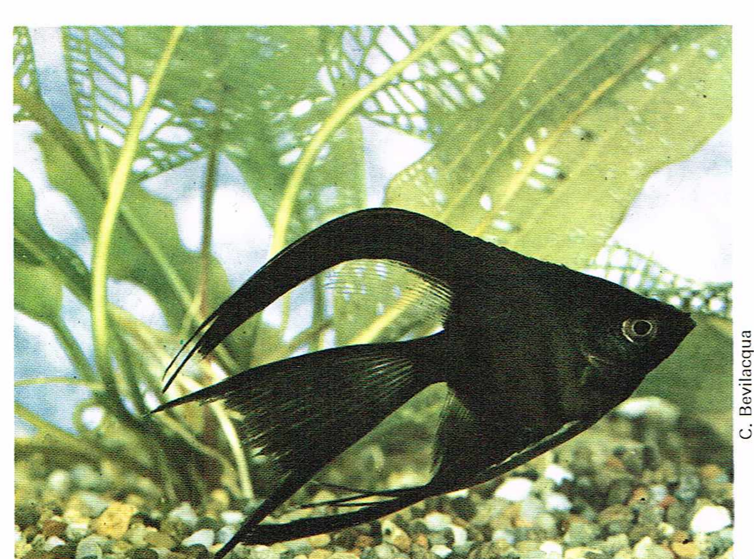
Par la suite, on pourra introduire de nouvelles espèces ; mais quand le nombre de Poissons augmente et quand on acquiert des espèces plus délicates, il convient d'acheter d'autres accessoires.

Si la température extérieure n'est guère constante et risque de subir des baisses subites, il est bon d'installer un thermorégulateur pour stabiliser la température de l'eau. Si le nombre de Poissons est excessif, l'oxygène atmosphérique absorbé par l'eau et celui qui est fourni par les plantes ne suffisent pas ; en ce cas, on achètera à peu de frais un vibrateur qui fait à la fois fonctionner un oxygénateur et un filtre de purification de l'eau (à charbon de bois et résine filtrante).

Si les plantes ont tendance à mourir à cause du manque d'insolation, on placera devant l'aquarium une lampe qui, à la fois, stimulera la croissance des Végétaux et donnera un éclairage du plus bel effet.

L'aquarium constituera, pour son propriétaire, une initiation à l'écologie, dont les lois — et notamment la notion d'équilibre biologique — s'imposeront peu à peu.

A gauche : un scalaire *(Pterophyllum scalare)* mélanique ; avec ses nageoires et sa queue en forme de voiles, c'est un des plus élégants Poissons d'aquarium ; il est très variable, et l'on élève le plus souvent ses variétés zébrées en hauteur. A droite : xipho, ou porte-glaive *(Xiphophorus helleri),* mâle.





LES GALLINACÉS DOMESTIQUES

S. Prato



« Nous devons un coq à Asclépios. Eh bien ! ne l'oubliez pas et payez ma dette. » Tels furent les derniers mots de Socrate après qu'il eut bu la coupe de ciguë. Que voulait dire par là le philosophe à Criton ? Il est difficile de le savoir, car, tout au long de son histoire, le coq a été mêlé à des traditions occultes. Chez les Grecs justement, il était associé à Hermès Trismégiste, qui n'était autre que le dieu égyptien Thot. Or, Hermès passe pour être le fondateur de l'alchimie, science hermétique s'il en est.

Les mystérieux pouvoirs attribués au coq se retrouvent dans le Hamlet de Shakespeare. C'est le chant du coq qui, sur la terrasse d'Elseneur, fait disparaître le fantôme du père de Hamlet, et Shakespeare a prêté ces mots à Horatio : « J'ai ouï dire que le coq — la trompette du matin — de son gosier aigu au son strident, éveille le dieu du jour, et qu'à son signal, soit dans l'onde ou le feu, soit dans la terre ou l'air, les esprits errants qui extravaguent retournent dans leur sphère » (trad. d'E. Morand et M. Schwob, Gallimard, 1950).

Quant au fameux coq gaulois, il a suscité bien des discussions. Pour certains, il n'aurait été qu'un jeu de mots : Gallus, en latin, signifie à la fois coq et gaulois. En fait, diverses découvertes archéologiques prouvent que le coq habitait bel et bien les villages gaulois.

Mais c'est en Asie sud-orientale que commence l'histoire du coq domestique : il descend du coq sauvage dit bankiva, qui fut domestiqué vers 2500 av. J.-C. par la civilisation de l'Indus. A partir de là, il se répandit à la fois vers la Chine et vers l'Europe, où il s'implanta véritablement au VIe siècle av. J.-C.

On peut d'ailleurs observer chez les poules domestiques, et c'est là l'héritage d'un passé de liberté, une prédilection pour les bois. Chacun sait qu'elles aiment passer la nuit en boule, sur les arbres bas, quand il leur arrive de s'échapper, et ont tendance à former des sociétés où un seul mâle domine tous les autres individus.

Le mâle du bankiva, comme au reste le coq domestique, défend au péril de sa vie le territoire, contre d'autres groupes ou d'autres mâles intrus, en utilisant son éperon, qui est une arme terrible.

Le dimorphisme sexuel, comme chez tous les Galliformes, est très accentué. La poule est plus petite que le mâle ; sa queue est simple et horizontale ; elle ne possède pas d'éperons ; enfin, sa crête et ses barbillons sont peu développés.

Le mâle, par contre, possède un plumage aux éclatantes couleurs ; sa crête et ses barbillons sont très développés, ainsi que ses éperons ; il ne se fait d'ailleurs pas faute de montrer ses attributs au cours de la parade nuptiale, quand il étend et agite bruyamment ses ailes, gratte le sol de ses pattes et tourne impétueusement autour de la femelle. La danse nuptiale est une forme rituelle du comportement, qui est restée inchangée, malgré la domestication.

Un groupe de poules et de coqs est une société avec ses lois, sa hiérarchie rigide, et cette société est d'autant plus stable et équilibrée qu'on y introduit moins d'éléments extérieurs. Dans ces conditions d'équilibre, le rendement du poulailler est même plus élevé. On s'est aperçu en ce cas que les poules pondent plus.

Le coq qui se montre le plus fort après plusieurs combats est habituellement le plus vieux, car il a l'expérience de la lutte, et il domine tous les autres coqs et poules. Mais chez les femelles elles-mêmes, le pouvoir est inégalement réparti : l'une d'entre elles a la prédominance sur toutes les autres et exerce une sorte de droit de becquée, c'est-à-dire le droit de les attaquer à coups de bec ; en outre, elle a une absolue préséance pour la prise de nourriture. C'est la

On remarque la majesté de ce coq hollandais au plumage sombre avec une touffe blanche sur la tête.



E.P.S.

Ci-dessus, une race de dindons à plumage complètement blanc.

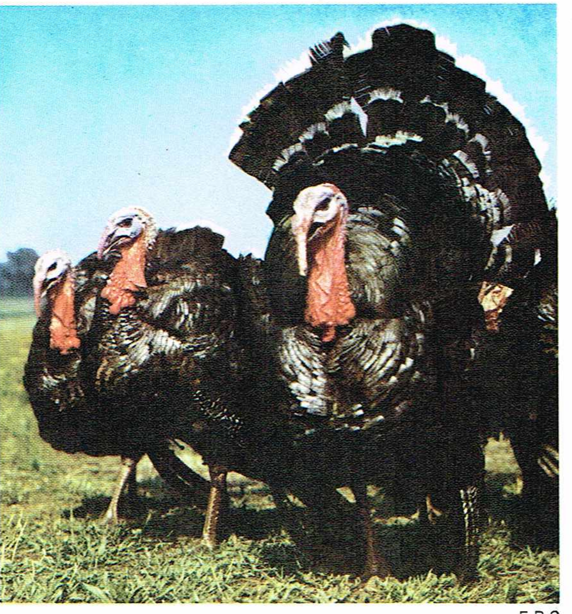
« hiérarchie du becquetage ». La dernière femelle dans l'ordre hiérarchique est attaquée par toutes les autres; entre celle-ci et la reine du poulailler existe une série de poules dont l'autorité va croissant, chacune dominant celle qui a un grade inférieur et étant dominée par celle qui lui est supérieure dans l'échelle hiérarchique.

Ainsi, un vulgaire poulailler est un excellent domaine d'étude du comportement social des Animaux.

Les longs siècles d'élevage ont abouti, du fait de la sélection opérée par l'homme, à la création de variétés ou de races diverses, provenant du Gallus gallus *sauvage. Ces variétés diffèrent par la taille, la livrée et la morphologie externe en général.*

Nous citerons, entre autres, la race Leghorn ou Livournaise et la Wyandotte, chez qui dominent les formes blanches, l'Andalouse, à plumage généralement gris bleuté, la Plymouth Rock, tachetée, la Padouane, dont le coq est caractérisé par la possession d'une énorme touffe de plumes sur la tête, moins développée chez la femelle, la Houdan, à cinq doigts par patte, etc. Mais les coqs les plus extraordinaires sont sans doute ceux du Japon, chez lesquels la queue atteint 6 m de long.

Groupe de dindons d'Amérique du Nord bien reconnaissables à la façon dont les mâles ouvrent leur queue en éventail.



E.P.S.

LA PINTADE

La pintade (Numida meleagris) *est originaire d'Afrique : elle fut importée en Grèce au Ve siècle av. J.-C. Les peuples européens la délaissèrent ensuite, et ce sont les navigateurs portugais qui la réintroduisirent au XVIe siècle. Le mot pintade vient d'ailleurs du mot portugais* pintado, *poule peinte.*

Tout le monde connaît la petite tête de la pintade et son long cou dépourvus de plumes et colorés en bleu. La tête est surmontée d'un étui corné, formant comme un petit casque. Les narines sont pourvues de fins appendices charnus et bruns. Le chant de cet Oiseau — si l'on peut dire que c'est un chant — est un cri insistant et monotone, qui sert dans la nature de défense contre les prédateurs (panthère, caracal, chacal, etc.).

C'est un Oiseau grégaire, aussi bien naturellement qu'à la basse-cour : la pintade forme des groupes d'une centaine de têtes, des deux sexes, qui pâturent à découvert pendant le jour et qui se réfugient dans les broussailles à la nuit. Quand les troupes sont perturbées, elles s'envolent à faible hauteur, en émettant leur cri rauque.

A l'époque de la reproduction, les troupes se dissolvent, et il se forme des couples : ce sont donc, à la différence des poules, des Oiseaux monogames; les femelles creusent alors de petits trous dans le sol, où elles pondent de 5 à 8 œufs chacune. L'incubation est de 20 à 25 jours.

La sélection a également abouti à la création de races de pintades domestiques, mais qui diffèrent peu de la souche sauvage : nous citerons entre autres la variété blanche, dont le plumage est presque totalement blanc.

LE DINDON

Remarquablement adapté à la domesticité, le dindon (Meleagris gallopavo) *est répandu dans le monde entier. Il vit à l'état sauvage au Mexique et aux États-Unis. C'est un très gros Oiseau, surtout en ce qui concerne les mâles qui peuvent atteindre plus de 1 m de longueur et avoir une envergure de 1,50 m.*

Le dindon doit son nom à l'ancienne confusion entre l'Amérique et l'Inde. Comme les Indiens ou le « cochon d'Inde », il est en fait originaire d'Amérique. Il y fut domestiqué par les Indiens bien avant l'arrivée des Espagnols. L'Europe ne le connut qu'au XVIe siècle : le premier couple de dindons fut celui qui fut offert au pape en 1523; le premier dindon mangé en France le fut lors du mariage de Charles IX, en 1571.

Nous ne décrirons pas en détail cette espèce, universellement connue; on sait que, chez elle, le dimorphisme sexuel est accentué. Le dindon a conservé en captivité la pratique de la danse nuptiale.

Quand les premiers colons arrivèrent en Amérique du Nord, ces Oiseaux peuplaient les forêts — et particulièrement les chênaies — par troupes de centaines de têtes, mâles et femelles mélangés tout au moins au printemps et en été. En automne et à la fin de l'hiver, les individus des deux sexes se séparent pour former des groupes distincts — les femelles emmènent avec elles leurs petits — et se rendent vers le sud à la recherche de lieux plus favorables à leur subsistance.

La saison des amours, à la fin de l'hiver, est marquée par des luttes acharnées entre mâles; les rivaux, la queue déployée en éventail, les ailes ouvertes et traînant sur le sol, le cou replié en arrière, et les caroncules en érection, se battent, souvent jusqu'à la mort de l'un des combattants. Le vainqueur s'approprie alors un certain nombre de femelles. Les gros œufs, pondus en grand nombre, éclosent après quatre semaines d'incubation.

Notons que la domestication a beaucoup moins provoqué de polymorphisme (c'est-à-dire variété d'aspects) chez le dindon et la pintade que chez le coq. Ajoutons que le terme de poule est attribué à certaines autres femelles de Gallinacés (ou Galliformes); poule faisane, poule de bruyère (femelle du tétras ou coq de bruyère)...

LES MIGRATIONS DES OISEAUX

La vaste plaine serait bien triste, en cette journée d'automne, sans les corbeaux qui y pâturent et les petites bandes d'alouettes qui filent vers le sud.

Soudain, dans le ciel gris de pluie, un spectacle splendide nous fait dresser la tête : une formation d'oies sauvages, dessinant un V impeccable, cingle vers le midi. Nous percevons fort bien leur incessant bavardage tandis que la troupe disparaît dans la brume.

De tous temps, les migrations des Oiseaux ont excité la curiosité des hommes. Où diable se réfugiaient les hirondelles après leur disparition à l'automne ? Ne s'enfouissaient-elles pas dans la vase des étangs ? Pourtant, dès une époque reculée, des idées plus justes s'étaient manifestées. On lit, par exemple, dans la Bible : « Même la cigogne connaît dans les cieux sa saison. »

Si nous considérons l'Europe occidentale, nous pouvons y distinguer, du point de vue des migrations, plusieurs catégories d'Oiseaux. Certains ne se déplacent pas ou à peine : ce sont les sédentaires, comme le moineau, la pie, les perdrix, les chouettes.

Les migrateurs partiels sont les espèces dont une partie de l'effectif est sédentaire alors que l'autre (celle qui vit le plus au nord) est migratrice : le rouge-gorge et le héron cendré sont dans ce cas.

Les hôtes d'été sont sans doute les plus « classiques » des migrateurs : ils nous reviennent d'Afrique à chaque printemps, nichent en Europe et repartent à l'automne pour hiverner au-delà de la Méditerranée. On a reconnu là les hirondelles, les martinets, le coucou, le rossignol, la cigogne, etc.

Inversement, les hivernants ne visitent l'Europe de l'Ouest qu'à la mauvaise saison, après s'être reproduits en Scandinavie ou dans le nord de l'U. R. S. S. Il s'agit d'oies et de cygnes sauvages, de pluviers, de certaines grives, etc.

Autre catégorie : celle des Oiseaux de passage qui traversent deux fois nos régions, au printemps vers le nord, et à l'automne vers le sud. De nombreux petits Échassiers (bécasseaux, chevaliers, etc.) sont dans ce cas, ainsi que la grue cendrée.

Enfin, il existe des hivernants d'août... Le fait a de quoi surprendre. Moins si l'on pense que les saisons de l'hémisphère austral sont à l'inverse des nôtres. Et c'est ainsi que des Oiseaux de mer, pétrels et puffins, venus des îles de l'Atlantique Sud viennent hiverner — en plein été — au large de l'Europe.

Techniques d'étude

Les migrations sont étudiées par observation directe dans les cols de montagne, les îles, sur les côtes, etc. Des stations spécialisées ont été ainsi installées aux endroits les plus favorables, en Camargue et à Ouessant.

De plus la méthode du baguage a beaucoup fait progresser nos connaissances sur le sujet : elle consiste à placer à la patte de l'Oiseau une bague en aluminium avec un matricule. Si le sujet bagué est retrouvé, vivant ou mort, on connaîtra le chemin qu'il a parcouru, à condition, toutefois, que la personne qui l'a trouvé renvoie la bague.

Les bagues découvertes en France, qu'elles soient françaises ou non, doivent être adressées au Muséum de Paris (55, rue Buffon - 75005 Paris) qui conserve des fichiers qui permettent de savoir où ont été bagués les spécimens porteurs de bagues françaises. Les bagues étrangères sont retransmises à leurs pays respectifs.

C'est grâce au baguage qu'a été vérifiée la fidélité de certains Oiseaux à leur site de nid : hirondelles et martinets, par exemple, reviennent plusieurs années de suite au même nid.



C. Bevilacqua

La cigogne blanche est l'un des Oiseaux migrateurs les plus caractéristiques.

Autre fait curieux : les migrations en boucle. Un petit Passereau insectivore, le gobe-mouches noir, est rare en France lors de son passage printanier, alors qu'il est très commun à la fin de l'été et à l'automne. L'explication est très simple : le gobe-mouches effectue une migration en boucle.



A. Margiocco

L'hirondelle est l'Oiseau migrateur qui annonce l'arrivée du printemps.

Les causes des migrations

Les raisons qui poussent les Oiseaux à partir ne sont pas aussi simples à définir qu'il le semblerait. Prenons l'exemple du martinet noir, véritable flèche vivante qui cingle dans le ciel de nos villes. Il nous quitte dès la fin du mois d'août alors qu'il fait encore chaud et que les Insectes sont toujours abondants.

Nourriture et température sont donc insuffisantes pour expliquer le départ des migrateurs. D'ailleurs, certains retrouvent dans l'hémisphère austral un climat comparable à celui qu'ils ont quitté dans les régions boréales. L'alimentation a néanmoins un rôle plus important : certaines espèces, strictement insectivores, sont obligées de partir lorsque les Insectes se raréfient. D'autres, plus éclectiques, changent de régime et se rabattent sur les graines ou les baies.

Mais, en réalité, c'est au niveau des glandes endocrines qu'il faut chercher le véritable déterminisme des migrations. On avait d'abord cru que le rôle principal revenait aux glandes génitales : il n'en est rien, car des Oiseaux castrés migrent normalement, et, au contraire, les espèces sédentaires ont un cycle sexuel comparable à celui des migratrices.

En réalité, c'est l'hypophyse, glande suspendue au cerveau, qui a le rôle déterminant. Elle est sous l'influence de l'hypothalamus, partie de l'encéphale sensible aux variations de la lumière. Ces variations (par exemple, le raccourcissement des jours à la fin de l'été) influent sur l'œil, qui agit sur l'hypothalamus, qui, lui-même, régit l'hypophyse. A son tour, celle-ci stimule les glandes génitales et la thyroïde.

De plus, lorsque l'Oiseau aura ainsi été mis dans une disposition prémigratoire, des facteurs externes (nourriture, température, rassemblement de ses congénères) l'inciteront encore davantage à partir.

L'aigrette, une autre espèce migratrice.



C. Bevilacqua

L'orientation des migrateurs

A première vue, l'orientation des Oiseaux migrateurs tient du prodige. Certains, après avoir abattu des milliers de kilomètres au-dessus des vagues, retrouvent un îlot perdu en plein océan.

De très nombreuses expériences ont permis d'élucider en grande partie cette énigme. Le principal guide des voyageurs diurnes, c'est le soleil. Par exemple, les étourneaux en cage se placent dans la bonne direction quand le ciel est dégagé. Au contraire, par temps couvert, ils se disposent d'une manière irrégulière.

Un autre type d'expérience est aussi significatif. Si des goélands sont lâchés à une certaine distance de leur habitat normal, 65 % peuvent trouver du premier coup la bonne direction par temps clair, contre 40 % par temps nuageux.

Des étourneaux qui avaient été éclairés avec de la lumière artificielle selon un rythme ayant six heures d'avance sur la lumière naturelle prirent à leur lâcher une direction à 90° de la normale. Or, 90° sont le quart d'un cercle (360°) comme six heures sont le quart d'une journée ; l' « horloge interne » de ces Oiseaux avait été déréglée.

L'orientation sur le soleil pose toutefois quelques difficultés. Le mouvement apparent qu'il décrit au cours de la journée en est une. Si un Oiseau gardait toujours le même angle de vol par rapport au soleil, il ne parviendrait jamais au but. Il lui faut donc faire une correction de cet angle.

Et quand le ciel est couvert ?... Les Oiseaux utilisent alors des repères visuels, comme les côtes, les vallées, les lacs, les montagnes, etc. Ils se guident sur eux jusqu'à la prochaine éclaircie ; quand le soleil revient, ils corrigent, s'il le faut, leur trajectoire.

La nuit, ce sont les étoiles qui constituent le principal repère des migrateurs. Des expériences plutôt extraordinaires ont été opérées à ce sujet au planétarium de Brême. Des fauvettes placées sous un ciel artificiel correspondant à l'époque de leur départ prirent la bonne direction... Peut-être certaines espèces peuvent-elles utiliser aussi le champ magnétique terrestre. Diverses expériences sont assez significatives à cet égard, mais la controverse reste vive sur cette question.

Les invasions d'Oiseaux

A côté des migrations classiques, il faut dire un mot des invasions d'Oiseaux. Il s'agit de déplacements massifs, se reproduisant à intervalles irréguliers et généralement sans retour.

Le jaseur boréal est un coutumier de ce genre d'invasions. C'est un Passereau un peu plus gros qu'un moineau, au plumage brun rosé, huppé, avec les ailes tachées de rouge. Il niche dans le nord de la Scandinavie et hiverne près de la Baltique.

Certaines années, les jaseurs envahissent des pays beaucoup plus méridionaux, comme la France et l'Italie. Ils apparaissent surtout dans les sorbiers ou autres arbustes à baies. Jadis, ces exodes de jaseurs impressionnaient vivement les foules, qui accusaient ces inoffensifs Oiseaux d'annoncer la guerre ou la peste.

C'est surtout, semble-t-il, la raréfaction de la nourriture qui est à l'origine de ces invasions. De même, quand les lemmings se font rares, les chouettes harpongs, à la splendide livrée blanche, glissant sur leurs ailes ouatées, mettent cap au sud.

LES OISEAUX DE VOLIÈRE ET DE CAGE

La volière est une grande cage, destinée à certains Oiseaux comme les faisans, les cailles, les perroquets, etc. En raison de ses dimensions, elle permet aux Oiseaux une plus grande liberté de mouvements, condition essentielle pour qu'ils se reproduisent. En outre, elle protège ses hôtes des Animaux prédateurs et peut abriter aussi de petites espèces, comme les Passereaux.

Une volière doit avoir un volume de 40 m³ pour les paons, de 24 m³ pour les faisans et de 6 m³ pour les cailles, par exemple. Sa hauteur standard doit être de 2 m, de manière que les Oiseaux, en volant vers le haut, ne puissent acquérir trop de vitesse et se blesser contre le toit. La structure fondamentale est toujours la même : les deux tiers de la surface sont occupés par la cage, et le reste par un abri en maçonnerie, qui sert aux Oiseaux en cas de pluie ou de vent. En outre, il faut disposer d'un local chauffé l'hiver.

En ce qui concerne le peuplement, on n'oubliera jamais de ne pas trop charger la volière, car les mâles se battent souvent. En règle générale, il ne doit pas y avoir plus de 7 ou 8 Oiseaux, par exemple un couple ou un groupe d'une grande espèce (faisans, paons, etc.), un couple d'espèces moyennes (colombes, tourterelles ou perroquets) et quelques couples de Passereaux exotiques.

LES FAISANS

On nomme communément faisans des Gallinacés asiatiques de la famille des Phasianidés, au plumage brillant. Le faisan de chasse est le plus simple à élever, mais on ne le fait habituellement pas, car on fait plutôt un croisement entre trois races : le Phasianus colchicus colchicus, *de Transcaucasie, le* P. c. torquatus, *de Chine orientale, et le* P. c. mongolicus, *de Mongolie. Étant donné qu'il est devenu très difficile de trouver des spécimens de race pure, on n'élève plus ces Oiseaux que pour la chasse. Le faisan est si bien implanté en Europe qu'il fait véritablement partie de sa faune.*

On recherche beaucoup pour les volières les faisans à queue longue comme le faisan vénéré (Syrmaticus reevesi), *au plumage blanc, noir et doré, et dont le mâle atteint une longueur de 2,10 m ; il doit donc disposer de beaucoup d'espace.*

Le faisan doré (Chrysolophus pictus) *et le faisan de lady Amherst* (Chrysolophus amherstiae) *blanc, noir et vert sont très beaux, mais malheureusement souvent croisés entre eux. Le faisan argenté* (Lophura nycthemera), *au ventre noir et au dos blanc, est élevé en Chine depuis l'Antiquité.*

Tous les faisans se nourrissent de graines (blé, chanvre, millet, orge et maïs), de pâtées pour faisans — toutes préparées — et surtout de beaucoup de verdure. Les accouplements ont lieu au printemps ; puis les femelles pondent de 6 à 15 œufs ; la couvaison dure, selon les espèces, de 21 à 26 jours.

LES PAONS

Les paons sont des hôtes très appréciés des volières, bien qu'ils soient mieux dans un parc. L'espèce la plus résistante est le paon bleu (Pavo cristatus), *originaire de l'Inde septentrionale, avec ses variétés blanches, bleues, tachetées et à ailes noires. Les plus appréciés sont les paons blancs et ceux à ailes noires. Le paon spicifère* (Pavo muticus), *de Malaisie, à huppe droite, est plus délicat. Ces deux espèces supportent mal le froid, ce qui fait qu'il faut les abriter dans un local chauffé durant l'hiver. En général, les mâles s'accouplent chacun avec plusieurs femelles, au nombre de 2 à 4. La couvaison dure 28 jours et les petits grandissent lentement.*

T. Catarisano



Une volière pour les Oiseaux de petite taille, tels que les canaris, les bengalis, etc.

LES CAILLES

Les cailles sont aussi souvent élevées en volière. Il en existe plusieurs espèces : la caille naine (Coturnix ou Exalfactoria chinensis), *la caille des blés* (Coturnix coturnix) *qui vit à l'état sauvage en Europe, le colin de Gambel* (Lophortyx gambeli *ou* californica) *et, un peu à part, le colin de Virginie* (Colinus virginianus). *Les deux derniers ont besoin de perchoirs, alors que les deux autres ne s'en*



C. Bevilacqua

Un faisan mâle *(Phasianus colchicus).*

servent pas. Il convient de prévoir dans la volière des zones herbeuses avec des buissons, où les femelles font leur nid et couvent pendant 17 à 23 jours. Les cailles sont nourries avec des provendes en pâtée (larves de fourmis) et de petites graines (blé, pavot, millet).

COLOMBES ET TOURTERELLES

Les colombes et les tourterelles sont un vaste groupe d'Oiseaux cosmopolites, comprenant une dizaine de genres. Les espèces exotiques souffrent beaucoup du froid, ce qui fait qu'il faut les mettre en hiver dans de grandes cages, dans des locaux chauffés; leurs dimensions minimales doivent être de 1 m sur 50 à 75 cm de hauteur. Toutes les colombes exotiques ont besoin de caissettes à bords bas pour nicher. Parmi les espèces étrangères, nous citerons la tourterelle striée (Geopelia striata) *— de l'Inde — la colombe passérine* (Columbigallina passerina) *— dont les mâles font une cour caractéristique aux femelles — et la très belle colombe poignardée* (Gallicolumba luzonica) *— des Philippines, qui doit son nom vulgaire à la tache rouge sang de sa poitrine.*

LES CANARIS

Le canari (Serinus canarius canarius) *ou serin des Canaries a été introduit en Europe au XVᵉ siècle par le baron français Jean de Béthencourt. Il est originaire de l'île de Madère et des îles Canaries. Les amateurs l'ont vite apprécié pour son chant agréable.*

Sa livrée, originellement vert, jaune et gris, est aujourd'hui presque exclusivement toute jaune, en Europe. La variété de cette couleur a été obtenue par sélection, en exploitant une mutation spontanée, c'est-à-dire un changement de couleur imprévu et qui était héréditaire.

A l'état naturel, toutefois, le canari présente toujours son plumage primitif. La sélection a également modifié certains autres de ses caractères comme sa taille, sa forme et la disposition de ses plumes, ce dont nous ne parlerons pas ici.

A Madère et aux Canaries, c'est-à-dire dans son milieu naturel, il présente un dimorphisme sexuel — phénomène que l'on observe chez beaucoup d'Oiseaux — c'est-à-dire une différence assez importante dans l'aspect extérieur entre les mâles et les femelles. Le mâle a ainsi une livrée à dominante verte avec des nuances et de petites taches grises, ainsi qu'une tendance à passer au jaune plus ou moins vif sur la tête et le dos; la femelle a le dos gris-brun, avec des bandes noires, la tête vert jaunâtre, et la poitrine et la gorge jaune doré.

En mars, chaque couple construit alors sur un arbre peu élevé un nid fait de ramilles et de crins, où la femelle pond 5 œufs vert bleuté, qu'elle couve durant 2 semaines.

A la fin de la saison de reproduction, qui compte jusqu'à 4 couvées, les couples se défont, pour former de petites troupes errant dans les forêts, les champs et les jardins de leurs îles d'origine, et se nourrissant de graines, de fruits ainsi que de bourgeons.

LES PASSEREAUX

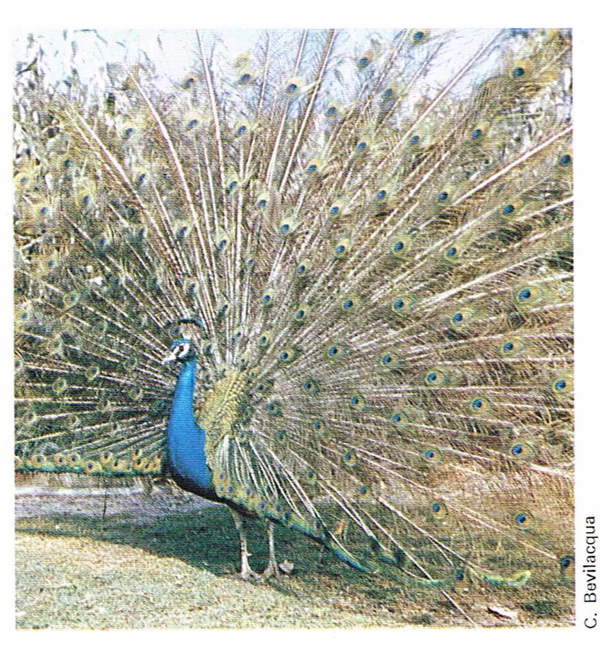
De nombreuses autres espèces de Passereaux peuvent être élevées en cage ou en volière. Il faut absolument s'abstenir de mettre en cage les espèces d'Europe : la plupart sont d'ailleurs protégées par la loi, et leur détention est interdite.

Parmi les espèces exotiques, certaines sont devenues véritablement « domestiques », c'est-à-dire qu'elles se reproduisent en captivité depuis des générations. Aussi n'est-il plus nécessaire de les capturer dans leur milieu naturel. C'est le cas du moineau du Japon, du diamant mandarin (dont existent déjà 200 variétés), du calfat blanc, etc.

Comme autres espèces appréciées, citons la foule remuante des astrilds ou bengalis, le cou-coupé, le franciscain ignicolore (dont le mâle est rouge et noir), les veuves à queue interminable, etc. Les colibris eux-mêmes s'élèvent bien en volière, à condition de les nourrir d'eau sucrée : précisons qu'il ne s'agit pas de Passereaux, mais de parents des martinets.

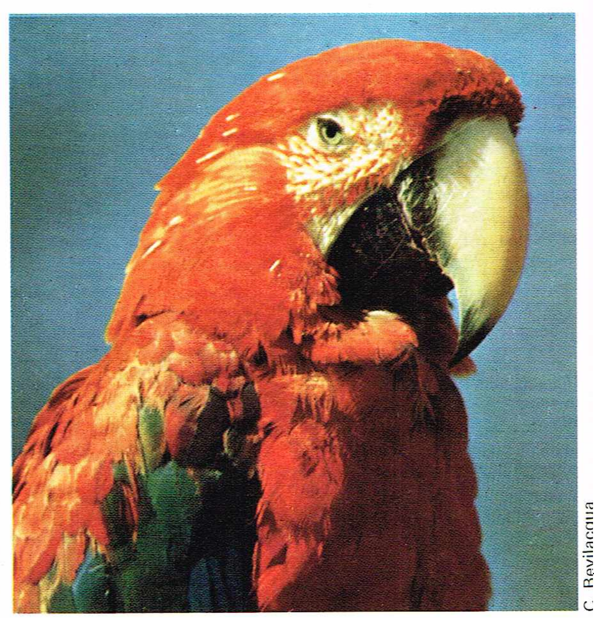
Et n'oublions pas le mainate, gros étourneau asiatique, qui parle à merveille, aussi bien ou même mieux que les perroquets. Ceux-ci feront, avec les perruches, l'objet de notre prochain article.

Le paon *(Pavo cristatus)* est un des plus élégants et des plus grands Oiseaux de volière.



C. Bevilacqua

Les perroquets, avec leur livrée multicolore, sont particulièrement indiqués pour l'élevage en volière.



C. Bevilacqua

LES PERROQUETS ET LES PERRUCHES

Il est impossible de parler, même très brièvement, de toutes les espèces de perroquets, qu'on classe dans la famille des Psittacidés et dans l'ordre des Psittaciformes, ces deux termes dérivant du nom savant du genre le plus commun, Psittacus.

Les perroquets sont des habitants typiques des forêts tropicales et équatoriales, surtout en Amérique du Sud, en Australie et en Océanie; ils sont moins nombreux en Afrique et en Asie méridionale. Ils habitèrent l'Europe à l'ère tertiaire.

Ce sont des Oiseaux à plumage vivement coloré, au bec très recourbé. Leurs pattes courtes et robustes sont pourvues de doigts nettement préhensiles, qui leur sont très utiles pour s'accrocher aux branches. Ils ne construisent jamais de vrais nids, leurs femelles pondant dans des trous d'arbres, plus rarement sur le sol. Les poussins naissent nus.

LE NESTOR ET LES CACATOÈS

Le nestor ou kéa (Nestor meridionalis), *qui habite la Nouvelle-Zélande, diffère par son régime de tous les autres perroquets; c'est en effet un carnivore. Il a un peu l'aspect d'un Rapace : ses doigts sont armés de fortes griffes; ses ailes sont longues et pointues; son plumage n'est pas de vives couleurs comme chez les autres perroquets, mais uniformément olivâtre, ce qui le rend particulièrement mimétique. Il s'attaque aux moutons, dont il déchire le dos avec son bec et ses griffes. Ce comportement n'a forcément pu apparaître qu'après l'introduction des moutons en Nouvelle-Zélande : le kéa s'est donc montré un parfait opportuniste.*

Les cacatoès ont au contraire un beau plumage. Ils sont doux et faciles à dresser. Leur nom vulgaire rappelle leur cri, qui est à peu près un « kakatoua-kakatoua ». Ils habitent les broussailles dans une grande partie de l'Australie. Leur plumage est généralement blanc; ils possèdent une belle touffe de plumes jaunes ou rouges sur la tête. Ils grimpent agilement aux arbres, où ils passent la nuit. Ils se tiennent, pendant une grande partie du jour, à terre, où ils recherchent, pour se nourrir, des graines, des bourgeons, des pousses, des bulbes et des tubercules, qu'ils tirent au besoin du sol en creusant avec leur bec.

Comme la plupart des perroquets, ils nichent dans les trous d'arbres, qu'ils peuvent agrandir de leur bec. La parade du mâle est prolongée. Les deux parents participent à la couvaison et à l'élevage des petits.

Les cacatoès apprivoisés aiment la présence de l'homme et sont affectueux envers les enfants; ils sont toujours vifs et curieux, mais deviennent parfois agressifs. Leur principal défaut est de lancer fréquemment, surtout lors des changements de temps, des cris assourdissants.

LES ARAS ET LE PERROQUET GRIS

On voit toujours, dans les volières des zoos, quelques aras, bien qu'ils deviennent de plus en plus rares et chers. La plus grande espèce peut mesurer un mètre de longueur. Les Oiseaux sont faciles à reconnaître, même par des profanes : ils ont un bec très grand et robuste, comprimé latéralement, à mandibule supérieure longue, courbe et pointue à l'extrémité; leurs joues sont nues et colorées. Ce sont des Oiseaux d'Amérique centrale et du Sud, qui vivent par groupes peu importants ou par couples, dans les grandes forêts, de préférence à proximité des cours d'eau. Aux heures chaudes du jour, ils sommeillent sur les branches, la tête cachée sous l'aile; c'est seulement à la tombée de la nuit qu'ils vont se nourrir, de fruits, de graines et de bourgeons. Ils forment rarement des troupes nombreuses. Ils nichent dans des trous d'arbres, et, bien qu'étant normalement pacifiques, ils défendent furieusement leurs couvées, surtout contre les singes.



C. Bevilacqua

Les aras comptent parmi les plus colorés, les plus beaux et les plus grands des perroquets; on voit ici un ara rouge *(Ara macao)*, originaire d'Amérique centrale.

Les aras sont faciles à apprivoiser et apprennent à reconnaître leur maître. On ne les met pas en cage, car ils pourraient abîmer leur plumage, mais sur des perchoirs, auxquels une de leurs pattes est liée par une chaînette.


E.P.S.

On nomme communément perruches de petits perroquets, qui portent sur le dessus des stries légèrement marquées ; ces Oiseaux sont adaptés à la vie en cage.

Nous citerons parmi eux l'ara bleu (Ara ararauna), *l'ara macao* (Ara macao), *du Mexique, au plumage rouge et bleu, l'ara à ailes vertes* (Ara chloroptera) *et l'ara hyacinthe* (Andorynchus hyacinthinus), *du Brésil, le plus rare et le plus beau, avec sa livrée bleu foncé.*

Les meilleurs perroquets parleurs sont l'amazone à front bleu (Amazona aestiva), *longue de 40 cm, y compris la queue, et le perroquet gris* (Psittacus erithacus) *; ces Oiseaux sont plus petits que les cacatoès et les aras. Ils s'adaptent très bien à la captivité, à tous les climats et à tous les régimes, ce qui en fait des Oiseaux de cage idéals.*

L'amazone à front bleu, répandue du Brésil à l'Argentine, a un plumage vert, avec le front bleu et la gorge et les joues jaune vif.

Les amazones constituent de très importantes troupes, qui se désagrègent lors de la formation des couples pour la reproduction. Elles se nourrissent de fruits et de graines ; arboricoles par excellence, elles grimpent très facilement, s'aidant de leur bec qui fait en quelque sorte fonction de troisième patte.

Le perroquet gris (ou ara) a une livrée moins belle, mais quand même très élégante. Il est tout gris, avec la queue écarlate. Il habite l'Afrique occidentale. Vif et doux, aimant son maître, il est intelligent et très bon imitateur ; il vit très longtemps en captivité. C'est de tous les perroquets le meilleur parleur.

L'Afrique héberge encore les inséparables ou agapornis, petits perroquets remarquables par leur fidélité conjugale : mâle et femelle dorment serrés dans leur nichoir.

LA PERRUCHE ONDULÉE

Nous terminerons par la perruche ondulée (Melopsittacus undulatus), *originaire d'Australie, l'Oiseau de cage le plus populaire avec le canari. Comme pour ce dernier, la sélection des éleveurs a abouti à la création de variétés de toutes les couleurs, différant beaucoup de la livrée originelle, où domine le vert, avec de jolies stries noires ondulées à la partie supérieure du corps (d'où le nom de l'espèce). La sélection, pour aboutir au résultat que l'on sait, a exploité les mutations de couleurs qui apparaissent par hasard dans les élevages. On a séparé, en les faisant se reproduire à part, les individus qui présentaient des modifications héréditaires de la teinte du plumage ; c'est ainsi qu'il existe des perruches bleues, lilas, blanches, jaunes et cendrées.*

La perruche ondulée imite peu la parole humaine ; elle est néanmoins intelligente, affectueuse et facile à élever sous tous les climats ; elle s'est répandue comme Oiseau de cage dans le monde entier.

En Australie, qui est son pays d'origine, elle forme des troupes qui restent toujours homogènes, même quand les couples se reproduisent, c'est-à-dire d'octobre à décembre. Cet Oiseau abandonne la forêt où il habite pour chercher sa nourriture, mais seulement le matin et le soir, c'est-à-dire aux heures les moins chaudes de la journée, poussant des cris très aigus, que tous les amateurs de perruches connaissent bien.

Les femelles pondent de quatre à six œufs blanchâtres, dans les trous d'arbres (en cage, elles le font dans de petites caisses spéciales) et les couvent durant une vingtaine de jours, sans l'aide des mâles, lesquels se contentent de faire bonne garde à côté du nid. Les deux parents se chargent de nourrir les petits pendant environ un mois, période à la fin de laquelle, enfin emplumés, ils s'en vont librement à la recherche de leur nourriture.

Tous les perroquets sont de gracieux et sympathiques compagnons, mais ils peuvent être fort dangereux pour l'homme. Mis à part les antipathies qu'il leur arrive de ressentir vis-à-vis d'une personne, il leur arrive assez souvent de transmettre une maladie fréquemment mortelle si elle n'est pas soignée, la psittacose.

Le virus de cette affection (ultra-virus selon les uns, rickettsie selon les autres) provoque chez l'homme une bronchite ou une broncho-pneumonie ressemblant à la tuberculose et des troubles intestinaux, accompagnés d'une fièvre élevée (40 °C) et de prostration ; on contracte la psittacose en respirant des poussières d'excréments ou de cadavres d'Oiseaux infectés, et l'incubation est de huit jours. Mais cette maladie est maintenant facilement combattue par certains antibiotiques comme l'auréomycine et les tétracyclines.

LE CASTOR ET LES AUTRES MAMMIFÈRES AQUATIQUES

Le castor est le plus gros Rongeur européen. Cet intéressant Animal mesure en effet 1,20 m de longueur, dont 35 cm pour la queue. Il pèse jusqu'à 38 kg. Le castor est trapu, d'autant plus que la partie postérieure de son corps est la plus développée. Ses pattes sont très courtes, les antérieures l'étant encore plus que les postérieures, dont cinq doigts sont reliés par une large membrane natatoire.

La tête de l'Animal est robuste ; ses minuscules oreilles, velues intérieurement et extérieurement, peuvent être rabaissées sur la tête, de manière à empêcher l'entrée de l'eau dans le conduit auditif. Le nez peut aussi être parfaitement fermé. La petite bouche est armée d'incisives très coupantes, qui permettent à l'Animal de ronger un arbre d'une circonférence d'un mètre en deux ou trois nuits. Chez les castors la queue a un aspect caractéristique : de section circulaire à la racine, elle s'aplatit à mi-longueur pour prendre l'aspect d'une robuste spatule, plate et écailleuse.

Tout le monde connaît la fourrure de castor. Elle est constituée par une bourre très douce, haute tout au plus de 2 cm, grise à la base et brune à l'extrémité, et d'où font saillie quelques poils beaucoup plus longs.

LE RETOUR DU CASTOR

Le castor d'Europe était autrefois répandu à travers presque toute l'Europe, dans les bois proches des rivières ou des lacs. La chasse sans frein qui lui fut faite pour sa fourrure ainsi que les importantes destructions de son milieu naturel — dues directement ou non à l'homme — ont provoqué un déclin rapide de l'espèce. L'Animal se limita à certains territoires de la péninsule scandinave, à la Pologne et à la Russie (d'où provient la majeure partie des peaux), au bassin inférieur de l'Elbe, au haut Danube et au Rhône. On le rencontre également en Sibérie.

Au cours des dernières années, des castors ont été réintroduits dans diverses régions d'Europe, et le plus souvent avec succès. En France, les réimplantations du castor ont été faites sous l'égide de M. Bernard Richard, grand spécialiste de cet Animal.

Et c'est ainsi qu'il y a maintenant des castors en Bretagne, dans le val de Loire, en Alsace, etc. L'espèce a été aussi réintroduite en Suisse, et l'on projette de la réacclimater dans la région parisienne, où la Bièvre a gardé l'ancien nom du castor. Toutefois, c'est dans la vallée du Rhône que les castors demeurent le plus nombreux : leur effectif « français » est d'environ un millier de sujets.

Outre cette espèce (Castor fiber), *il existe un castor américain ou du Canada* (Castor canadensis), *qui habite l'Amérique du Nord. Les deux espèces ne présentent pas de différences importantes, mis à part certaines caractéristiques du crâne, leurs mœurs étant semblables.*

DES MŒURS PASSIONNANTES

Le castor est surtout célèbre pour ses travaux. Dans les zones où il n'est guère dérangé par l'homme, il vit en colonies plus ou moins importantes. Sa nourriture est principalement constituée par des écorces d'arbres, des feuilles et des ramilles. Pour se procurer sa subsistance, il abat un grand nombre d'arbres, en les rongeant à la base à l'aide de ses robustes incisives.

Une fois à terre, les troncs sont dépouillés par l'Animal de leurs branches, puis taillés en morceaux d'un ou deux mètres de longueur. Les pieux ainsi préparés servent à la construction des barrages et des tanières du castor, dont l'habileté est vraiment exceptionnelle. Les demeures du castor consistent en une ou plusieurs galeries qui débouchent sous l'eau (mais ont une cheminée d'aération) et qui convergent vers une chambre centrale tapissée de copeaux de bois. Des huttes sont édifiées dans certaines régions.



Ostman - P. R. Johanson

Le castor d'Europe *(Castor fiber)* est bien connu comme modificateur de l'aspect des forêts, lorsque les cours d'eau qui traversent celles-ci sont habités par l'Animal.

Dans la chambre, toujours parfaitement sèche puisque son fond permet à l'eau de s'écouler, toute la famille se rassemble ; la femelle s'y réfugie parfois aussi au moment de la mise bas. En ce cas, elle accumule au fond de la chambre des matériaux plus doux. La gestation, qui dure environ quatre mois, aboutit à la naissance d'un à six petits, aux yeux fermés, et velus.

Au bout d'un mois, les jeunes sont en mesure d'abandonner leur refuge et de suivre leur mère pour de brèves promenades au-dehors ; ils atteignent leur maturité sexuelle vers trois ans.



Ostman - J. R. Simon

On voit ici un castor rongeant un jeune tronc de bouleau.

régularisèrent le cours des torrents, en faisant cesser les crues subites et en faisant même surgir des pièces d'eau qui servirent à l'irrigation de terres auparavant incultes. C'est là l'un des quelques exemples d'exploitation intelligente des bienfaits de la nature par l'homme. Le castor est à peu près le seul Animal qui soit capable de modifier un paysage...

Dans d'autres endroits, les castors ont été exterminés ou survivent péniblement. Comme nous l'avons dit, ils ont été beaucoup chassés, non seulement pour leur fourrure, mais aussi pour une substance particulière, le castoréum, qu'ils produisent par deux glandes situées à proximité des gonades. Cette matière, d'odeur pénétrante et désagréable, a été considérée comme une panacée et coûtait très cher.

Un des aspects les plus cocasses des mœurs des castors est le rôle de leur queue. Contrairement à la croyance populaire, elle ne leur sert pas du tout de truelle, mais a bien d'autres usages : elle est à la fois réserve de nourriture (car elle peut se vider de la graisse qu'elle contient), contrepoids (quant le castor se tient debout), voiture d'enfants (car les jeunes s'y accrochent), gouvernail durant la nage, etc.

LES BARRAGES

En amont et en aval de ce qu'on peut considérer comme l'habitation proprement dite, les castors construisent des barrages, qui ont pour but de régulariser le débit des eaux des torrents, quand celui-ci est sujet à d'importantes variations ; en ce qui concerne les barrages d'aval, ceux-ci servent à faire monter le niveau de l'eau lorsque le torrent est en période d'étiage. Les barrages et les habitations sont, comme nous l'avons dit, construits très ingénieusement. Faits de troncs et de branches entrelacés, ils sont très solides, bien qu'ils laissent passer beaucoup d'eau par leurs interstices. Cet inconvénient est pallié par l'introduction de boue et de terre dans les fentes.

Le maintien en état de ces constructions demande de la part de l'Animal une activité constante et très fatigante, qui devient frénétique lors de la mauvaise saison et des grandes pluies, car l'accumulation d'eau fait fortement pression contre les barrages. L'habileté des castors à fabriquer des barrages a même été exploitée par l'homme, comme nous allons le voir.

En Amérique du Nord, l'Animal avait presque disparu à cause de la chasse dont il avait été victime. C'est alors qu'on interdit sa chasse, sous peine de lourdes amendes. En peu de temps, le nombre des castors augmenta, et il fut possible de transférer quelques colonies dans des torrents de montagne qui, pendant les périodes de crue, provoquaient d'importants dommages aux champs environnants et en aval. Les résultats furent remarquables : en effet, les castors, transportés dans de nouveaux milieux, construisirent comme à l'accoutumée des barrages, qui

LA LOUTRE

Le loutre d'Europe (Lutra lutra) *est un gracieux et élégant carnivore de la famille des Mustélidés qui atteint une longueur de 1,20 m, dont environ 45 cm pour la queue. Son corps est fuselé et aplati, son museau est large, ses oreilles petites. Ses pattes sont palmées, et sa queue est longue. La loutre fréquente les eaux douces, et surtout celles qui sont très poissonneuses, car elle se nourrit essentiellement de Poissons, bien qu'elle ne dédaigne pas les œufs d'Oiseaux et les Oiseaux aquatiques eux-mêmes. On la trouve parfois sur les côtes marines. Elle installe, sur les rives des rivières et des torrents, des tanières, simples trous ou parfois vrais terriers, auxquels elle accède par une galerie dont l'ouverture se trouve sous l'eau. Le tunnel aboutit à une chambre tapissée d'herbes et toujours sèche, d'où part une galerie secondaire faisant fonction de cheminée d'aération.*

La loutre était jadis considérée comme nuisible, à cause de la grande quantité de Poissons qu'elle dévore. En réalité, elle ne provoque pas de dégâts importants, si l'on tient compte de la taille et du nombre de pièces qu'elle tue ; malheureusement, l'homme a une fâcheuse tendance à tenir pour nuisibles beaucoup d'Animaux, alors qu'ils sont indispensables pour l'équilibre écologique. Le cas de la loutre est typique à cet égard, étant donné qu'elle se nourrit de Poissons qui sont la plupart du temps malades ou débilités : elle participe de ce fait à la sélection naturelle.

Donc, la loutre peut être considérée comme un nettoyeur des cours d'eau, car elle évite la propagation d'épizooties nuisibles aux Poissons. En Pologne, par exemple, les loutres ont été presque complètement exterminées ; les pêcheurs, qui avaient d'abord favorisé leur destruction, ont été les premiers à se rendre compte qu'ils avaient commis une monumentale erreur. Effectivement, ces carnivores ayant disparu des cours d'eau, les Poissons malades ont été à l'origine de la diffusion de toutes sortes de maladies, qui sont devenues épidémiques. De même, en France, la loutre est devenue une rareté : précisons qu'elle est, comme le castor, légalement protégée.

La loutre du Canada *(Lutra canadensis)* a les mêmes mœurs que la loutre d'Europe *(Lutra lutra).*



C. Bevilacqua

DE LA CROSSOPE AU VISON

Les eaux douces européennes hébergent bien d'autres Mammifères. Nous nous contenterons de les citer rapidement. Chez les insectivores, deux espèces : la crossope ou musaraigne aquatique et le desman, à petite trompe, propre aux Pyrénées. Du côté des Rongeurs, outre le castor, nous trouvons par ordre de taille : le campagnol amphibie, communément appelé « rat d'eau », le surmulot ou rat d'égout, qui pullule dans les villes, le rat musqué, introduit à partir de l'Amérique du Nord et fort indésirable, et le ragondin, d'origine sud-américaine.

Parmi les carnivores, en plus de la loutre, il faut mentionner le putois et surtout le vison, encore plus aquatique : rare en France, il ne subsiste plus guère qu'en Normandie, dans le val de Loire et le Sud-Ouest.

L'OURS ET LES MAMMIFÈRES MONTAGNARDS

Peut-on sauver les derniers ours bruns (Ursus arctos) *de France ? Ils ne sont plus qu'une quinzaine, retranchés dans la partie occidentale des Pyrénées. Le gros problème, c'est de modérer l'ardeur destructice des bergers, qui les accusent, parfois avec juste raison, parfois à tort, de tuer leurs brebis.*

Un écologiste de Pau, M. Tanguy Le Gac, propose la création d'un fonds « d'intervention éco-pastoral » qui pourrait verser de généreuses indemnisations aux bergers victimes de l'ours. Ainsi le dernier grand fauve de France serait sauvé de la disparition.

L'ours brun s'est déjà éteint dans le Massif central et le Jura au siècle dernier, et dans les Alpes françaises vers 1937. Près de 200 spécimens subsistent en Italie, dans les Abruzzes et le Trentin, en Espagne, et surtout en Europe orientale (la Roumanie et la Yougoslavie en possèdent chacune environ 800) et en U.R.S.S.

L'espèce a disparu d'Afrique du Nord, ce qui fait que l'Afrique ne compte plus aucun ours. En Amérique vivent des ours assez voisins, comme le grizzly, qui n'a pas toujours bon caractère, et l'énorme kodiak, des îles du Pacifique Nord, qui atteint 3 m de haut. L'ours qui mendie de la nourriture dans les parcs nationaux américains est le baribal ou ours noir : c'est lui que l'on voit à Thoiry.

LA VIE DE L'OURS

L'ours brun vit dans les forêts les plus touffues, mais où existent aussi des clairières et où se trouve une végétation basse qui lui fournit les baies dont il se nourrit. Il recherche aussi les grottes et les anfractuosités de rochers, pour y passer le jour et pour se réfugier éventuellement durant l'hiver.

L'ours brun est surtout actif de nuit, mais aussi à l'aube et au coucher du soleil. Comme nous l'avons dit, il se nourrit de fruits — et surtout de baies — mais il est à peu près omnivore. Si son territoire de chasse, plus ou moins vaste, comporte des torrents, il y pêche des Crustacés et des Poissons. Dans les zones où l'espèce est encore abondante, la rareté de la nourriture le fait rechercher les petits Rongeurs ; quand cette source de subsistance se tarit elle aussi, il s'attaque alors à des daims et à des sangliers.

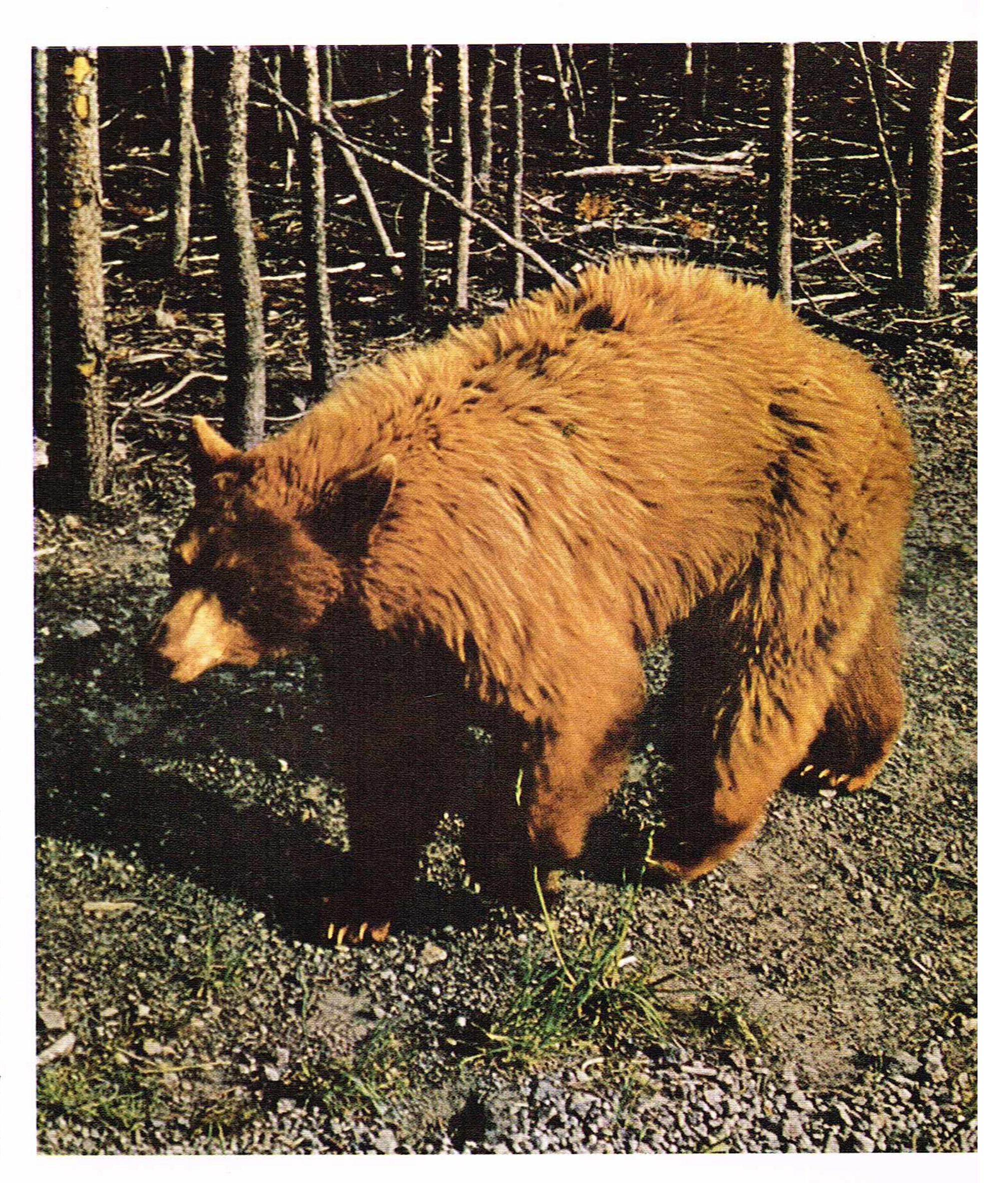
Il lui arrive même, nous l'avons dit, de manger des moutons et des veaux, non seulement au pâturage, mais aussi dans les bergeries et les étables. Par ailleurs, il se contente généralement de ce que lui offre la forêt, où il recherche tout particulièrement les nids d'abeilles sauvages, qu'il sait trouver même sur les arbres, et les nids de fourmis, dont il mange, presque sans en laisser, les adultes et les pupes.

Au cours de l'été, l'ours brun entre en rut. Les femelles, après une gestation d'environ 6 mois, mettent au monde de 2 à 5 petits, qui ne sont pas plus gros que des rats. La mise bas a lieu en plein hiver, lorsque les mâles sont en léthargie, dans une confortable tanière, revêtue d'herbes et de feuilles sèches. La mère allaite ses petits, ceux-ci ne sortent pas de leur tanière natale avant le début du printemps. Ils restent avec leur mère pendant tout l'été et l'automne, et passent ensuite l'hiver dans le même abri. Au printemps suivant, c'est la mère elle-même qui se charge de chasser ses enfants si ceux-ci ne sont pas déjà partis, car ils sont désormais capables de se suffire à eux-mêmes.

LA MARMOTTE

Beaucoup plus commune que l'ours dans nos régions, la marmotte (Marmota marmota) *constitue même de très importantes populations dans les Alpes, entre 1 500 m et 3 000 m d'altitude ; c'est l'un des plus intéressants Rongeurs de la faune européenne. On la rencontre aussi dans les Carpates. Mais, partout, son milieu caractéristique est celui des éboulis et des zones sans végétation, qui reçoivent durant le jour le maximum de soleil. Elle a une prédilection pour les endroits isolés, loin des habitations ; mais, quand elle n'est pas perturbée, elle peut s'approcher jusqu'à quelques dizaines de mètres des hameaux. Dans certains parcs nationaux, on peut facilement l'admirer au petit matin, dans les rochers, faisant entendre par moments des sifflements aigus. Les marmottes pullulent dans le parc de la Vanoise, où on peut en voir 15 dans un rayon de 100 m...*

La marmotte est un gracieux Animal, d'environ 70 cm de longueur, dont 18 cm pour la queue. Elle semble, à première vue, lente, mais elle est en réalité agile et peut se déplacer très rapidement.



Un Animal qui, dans les montagnes de la péninsule italienne, est désormais limité à peu d'exemplaires : l'ours brun.



S. Mc Cutcheon

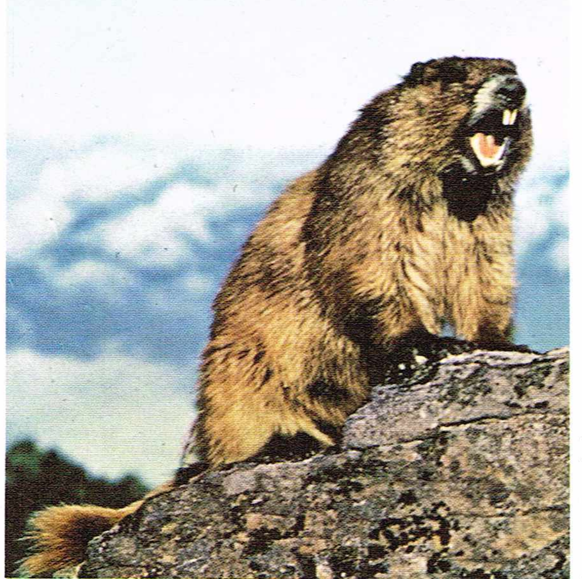
Une rencontre romantique à la lisière d'un bois.

Pendant l'été, la marmotte creuse dans ses lieux préférés une tanière, reliée à l'extérieur par plusieurs galeries situées à différentes profondeurs. Le Rongeur se rend dans sa demeure centrale par ces tunnels, d'où il peut éventuellement fuir en cas de danger. Au matin, la marmotte sort de sa tanière et, toujours en éveil, après avoir observé les environs, va chercher de la nourriture. Son alimentation consiste essentiellement en herbes alpines, qu'elle coupe très rapidement grâce à sa robuste denture. Elle se nourrit également de racines et, souvent, comme la nourriture se fait rare, elle se contente d'herbes sèches. Pendant ses repas, qu'elle consomme assise sur ses pattes postérieures, en une attitude caractéristique, elle ne cesse jamais de surveiller les alentours, et, quand elle ressent un danger quelconque, elle émet un sifflement aigu, qui alerte toute la colonie, laquelle se réfugie immédiatement dans les tanières.

UN ANIMAL HIBERNANT

Ses accouplements ont lieu au début du printemps ; au bout d'une gestation d'environ 6 semaines, la femelle met au monde de 2 à 4 petits, qui restent généralement dans la nature jusque tard en été. Les marmottes adorent jouer : elles se culbutent, se mordillent, se frottent le museau...

La marmotte, que l'on voit ici dans son attitude caractéristique, vit dans les rochers des hautes cimes des Alpes.



Ostman - R. e J. Spurr

A l'approche de la mauvaise saison, la marmotte redevient très active, pour préparer ses quartiers hivernaux. La tanière est alors aménagée pour que l'Animal puisse y passer le long hiver. Parfois, c'est la demeure estivale qui sert de nouveau ; dans d'autres cas, de nouveaux souterrains sont creusés par l'Animal, à moindre altitude. La tanière hivernale, de toute façon, est toujours spacieuse, étant donné qu'elle abrite de nombreux individus. Une longue galerie, parfois ramifiée, aboutit à une vaste chambre tapissée de foin bien sec, que les Animaux ont pris soin d'accumuler à la bonne saison. Lorsque survient le froid, les marmottes rentrent dans leur demeure, dont elles ferment l'accès sur une grande longueur avec des pierres, de la terre et du foin. De la sorte, l'entrée d'air froid est empêchée, la température restant constante intérieurement.

Dans ce chaud milieu, les marmottes entrent en léthargie, étroitement serrées les unes contre les autres, pour passer toute la mauvaise saison. Durant la période de léthargie, toute l'activité organique de l'Animal se trouve ralentie, la bête étant parfaitement immobile, au point de donner l'impression d'être morte. Sa température interne baisse beaucoup, de même que son rythme respiratoire. Pendant cette période, la marmotte ne se nourrit pas et utilise donc les réserves de graisse qu'elle a accumulées au beau temps. C'est pour cela qu'au moment du réveil, l'Animal est très maigre et a besoin de se nourrir abondamment.

C'est lorsqu'elle sort de sa tanière au printemps que la marmotte, très affaiblie, est le plus vulnérable pour ses prédateurs, dont le principal est l'aigle. Il n'est pas rare d'observer, dans les zones où abondent les marmottes, un aigle qui s'envole, tenant dans ses serres une victime surprise avant d'avoir pu rentrer dans son abri, ou loin de celui-ci.

D'AUTRES MAMMIFÈRES MONTAGNARDS

Les grandes chaînes de montagnes du globe ont chacune des Mammifères particuliers. En Europe, outre l'ours brun et la marmotte, ce sont le chamois, le bouquetin, le lièvre variable (qui devient blanc l'hiver). L'Himalaya héberge divers Ruminants à allure de chèvre, comme le sérow, et aussi le petit panda, l'ours à collier, des singes (les semnopithèques montent jusqu'à 4 000 m) et le sympathique yack (qui atteint 5 800 m).

La cordillère des Andes possède, comme espèces typiques, le lama et ses parents (alpaca, vigogne, guanaco), le chinchilla, presque exterminé pour sa fourrure, et d'autres Rongeurs.

Il est moins évident que les hauts sommets d'Afrique équatoriale aient une faune mammalienne : il faut pourtant mentionner des rats, de petites antilopes (céphalophes), les damans (à allure de Rongeurs mais cousins des éléphants !) et le gorille de montagne ; un squelette de panthère a même été découvert à 5 000 m d'altitude sur le Kilimandjaro !

LA BELETTE, LA MARTRE ET LA FOUINE

J. Markham



La martre *(Martes martes)* est un Mustélidé largement répandu en Europe ; elle vit dans les forêts de haute futaie et dans les maquis denses.

Si les grands Carnivores sont devenus rares en Europe occidentale, de nombreuses espèces de plus petite taille se sont fort bien adaptées aux transformations que l'homme a fait subir au milieu naturel. Elles se rangent dans la famille des Mustélidés.

Nous avons déjà fait connaissance avec l'une d'elles, la loutre. Dans cet article et le suivant, nous allons nous intéresser aux autres. Et d'abord, le plus petit des Carnivores d'Europe : la belette (Mustela nivalis). *Elle ne mesure qu'une vingtaine de centimètres, plus une courte queue de 6 cm. Son pelage est brun dessus, avec le ventre blanc jaunâtre : la ligne de démarcation entre les deux teintes, sur les flancs, est nette.*

La belette a une silhouette très allongée : son corps est porté par de petites pattes. Elle apparaît parfois en un éclair, avant de disparaître sous une haie ; il faut se garder de la confondre avec l'hermine, qui a la même allure générale, mais est plus grande et a une queue plus longue.

UN VRAI PETIT FAUVE

Il existe d'ailleurs une concurrence écologique entre la belette et l'hermine. La première occupe surtout les plaines cultivées, où la seconde est moins abondante. En montagne, c'est au contraire l'hermine qui domine, bien que la belette monte parfois assez haut. Dans les régions méditerranéennes, l'hermine est absente : aussi les belettes peuvent-elles manger ses proies. Résultat : elles sont nettement plus grandes que leurs congénères plus septentrionales.

Les victimes habituelles de la belette sont les campagnols : en détruisant ces indésirables Rongeurs, qui tendent actuellement à proliférer, elle se rend donc utile à l'agriculture ; de ses canines pointues, elle leur perce habilement la nuque.

Il est curieux de constater que, lorsque les campagnols sont nombreux, les belettes abondent également. Celles-ci sont en effet, grâce à un mécanisme mal élucidé, plus fécondes lors de pullulations de Rongeurs. Mais elles s'attaquent aussi aux Oiseaux et même aux lièvres, aux lapins et aux rats, pourtant beaucoup plus gros qu'elles.

La belette grimpe et nage peu. La mise bas a lieu dans un trou de souris ou dans un tronc creux. Il y a généralement deux portées par an, de quatre à huit jeunes chacune. En dépit de son abondance, la belette n'a pas livré tous ses secrets : son organisation territoriale et sa vie sociale sont encore mal connues.

L'ENNEMIE DES ÉCUREUILS

La martre (Martes martes) *est un fort bel Animal dont le milieu naturel est la forêt, spécialement celle de conifères. Les nouvelles la concernant sont plutôt réjouissantes : après s'être raréfiée, la martre tend à regagner ici et là du terrain.*

Longue de 45 cm, avec une queue de 30 cm, la martre a une fourrure brune et une poitrine jaune caractéristique. Sa queue est touffue. Elle peut peser près de 2 kg. De mœurs farouches, la martre évolue agilement dans les grands arbres : elle y fait des bonds impressionnants. Elle est surtout crépusculaire et se cache le jour dans un trou d'arbre ou un vieux nid. La nuit, elle fait parfois des trajets d'une dizaine de kilomètres, tantôt à terre (ou l'on peut repérer ses traces dans la neige), tantôt dans les arbres.

La proie favorite de la martre est l'écureuil; elle est le seul Carnivore capable de le capturer dans les arbres. Son régime est par ailleurs assez varié. En Suède, les martres consomment en hiver : 51 % d'écureuils, 21 % de petits Mammifères, 18 % d'Oiseaux, 10 % divers. Les Insectes, le miel, les baies, les œufs figurent à son menu.

En avril, la femelle met bas de trois à six jeunes, dans un nid d'Oiseau ou un trou quelconque. Les martres, comme beaucoup d'autres Mammifères, limitent leur domaine au moyen de sécrétions odorantes de leurs glandes anales.

En France, l'espèce est surtout abondante dans les forêts de la moitié orientale du pays : elle semble atteindre 2 000 m en montagne. Si la martre est assez prospère à notre époque, c'est qu'on ne s'intéresse plus guère à sa fourrure : les élevages de visons rendent sa capture sans intérêt. C'est dans la taïga sibérienne que vit une proche parente de la martre, célèbre pour sa fourrure : la zibeline (Martes zibellina) *; jadis, elle habitait la Scandinavie.*

DES FOUINES EN VILLE

La fouine (Martes foira) *ressemble beaucoup à la martre, mais s'en distingue par sa bavette qui est blanche et non jaune. Le reste de son pelage est brun foncé. Elle mesure 45 cm, avec une queue de 25 cm.*

De mœurs surtout nocturnes, c'est une très bonne grimpeuse : elle est capable d'escalader une façade à l'aide des plantes grimpantes, et même de monter sur la croix de fer surmontant un clocher.

La fouine habite des milieux très variés. A la campagne, elle s'installe dans un arbre creux, un tas de fagots ou un hangar. Elle s'habitue en effet très bien au voisinage des hommes, trop bien même car il lui arrive de faire des incursions dans les poulaillers.

Et il se produit alors — pas toujours mais quelquefois — un curieux phénomène : la fouine tue toutes les poules qui se trouvent dans le poulailler, pour n'en manger qu'une seule. C'est là l'une des rares entorses à la loi selon laquelle les Animaux ne tuent que pour se nourrir.

Il semble que la fouine soit affolée par les battements d'ailes des poules qu'elle-même terrorise, et les tue par panique. De plus, l'odeur du sang excite fortement les Carnivores. Le régime de l'espèce comprend encore de petits Rongeurs, des œufs et des fruits : cerises, pommes et poires.

La fouine pénètre volontiers dans les villes : elle est même le seul Carnivore d'Europe qui se soit adapté à la vie citadine. On la signale jusque dans la banlieue parisienne; des fouines habitaient encore, il n'y a pas si longtemps, un terrain vague proche de la Chambre des députés à Paris : les constructions les ont chassées. Ces fouines des villes vont se nourrir dans les poubelles.

En dépit de sa relative abondance, la fouine ne se voit pas facilement car elle passe en général en un éclair. Elle se signale plutôt par ses traces, ses excréments et ses cris : le plus fréquent est un chuintement saccadé. Dans les vieilles maisons, on risque aussi d'entendre les bruits de ses bonds et de ses courses.

La femelle met bas de deux à quatre jeunes, le plus souvent au printemps. Sa vie sociale est mal connue : on voit donc combien d'études nécessitent encore nos Mammifères indigènes.

Jadis, les fourreurs recherchaient le pelage de la fouine : heureusement pour elle, elle est très difficile à prendre au piège. Au Moyen Age, avant l'implantation du chat en Europe, la fouine était élevée dans les campagnes en vue de la destruction des Rongeurs.

DES MANGEURS D'ŒUFS

Nous ferons connaissance, dans notre prochain article, avec d'autre membres de la famille des Mustélidés : l'hermine, le putois, le furet et le blaireau.

Ces petits Carnivores — comme d'ailleurs d'autres Animaux — sont des amateurs d'œufs. Et c'est pour l'observateur de la nature un petit jeu que d'identifier l'espèce qui a mangé l'œuf dont il trouve les débris.

Bien sûr, des coquilles cassées peuvent être tombées d'un nid après l'éclosion des jeunes, mais dans d'autres cas, un prédateur est passé par là. Un petit orifice, c'est la signature d'une hermine ou d'une belette qui a gobé l'œuf. Une grande ouverture aux bords déchiquetés, sur le côté de l'œuf, est le signe du putois. Une ouverture assez semblable, mais plus petite : c'est une fouine. Mais celle-ci (comme le surmulot) a aussi l'habitude de rassembler des œufs sans les casser.

Le blaireau et le hérisson réduisent les coquilles en miettes. L'écureuil les fend en deux. La pie et le geai « piochent » les œufs à coups de bec, la première sur le côté, le second au gros bout : il en résulte un petit orifice.

N'en déduisons pas que ces Animaux sont « nuisibles » : ce sont des prédateurs qui jouent un rôle irremplaçable dans les équilibres naturels. Jadis persécutés, les petits Carnivores sont aujourd'hui davantage respectés; il est désolant de les voir encore figurer dans des tableaux de destruction de « nuisibles » ou dans les « foires aux sauvagines ».

La belette *(Mustela nivalis)* est un petit Mustélidé doté d'un exceptionnel instinct de chasse.



J. Markham

DE L'HERMINE AU BLAIREAU

T. Okapia



L'hermine (*Mustela erminea*) dans sa livrée hivernale, toute blanche, sauf la pointe noire de la queue.

Un Animal au corps fluet qui traverse le chemin, porté par de courtes pattes : c'est une hermine, le plus visible de nos Carnivores, en raison de son abondance et de ses mœurs en partie diurnes. L'hermine (Mustela erminea) *est un peu plus grande que la belette. Elle a une longueur d'environ 40 cm, dont environ 15 cm pour la queue. Sa livrée hivernale est différente de sa robe estivale. En hiver, l'hermine devient toute blanche, à l'exception de l'extrémité de la queue, qui est noire. En été, sa livrée est brun roussâtre, assez semblable à celle de la belette. Comme cette dernière, c'est une chasseresse très habile, qui n'a pas peur de proies plus grandes qu'elle. La tactique de chasse de l'hermine consiste en une attaque par surprise, presque toujours couronnée de succès. Quand la proie est un Mammifère ou un Oiseau, elle lui saute à la gorge ou à la nuque pour la saigner. Lorsque la victime est de petite taille, elle est dévorée, alors que, dans le cas précédent, l'hermine se contente d'en sucer le sang. L'hermine capture non seulement des rats, souris, mulots et campagnols, mais aussi des lièvres, des lapins de garenne, ainsi que des Oiseaux sauvages et domestiques, aussi bien de petite que de grande taille.*

Elle attrape les Passereaux avec une habileté extraordinaire. La femelle met bas, en avril, de quatre à neuf jeunes. L'hermine se dresse souvent sur ses pattes de derrière, pour observer les environs ; elle grimpe à l'occasion. L'hermine était jadis très recherchée pour sa fourrure : comme il en fallait des centaines de spécimens pour faire un seul manteau, on imagine les destructions qui en furent faites...

LE PUTOIS

Le putois (Mustela putorius) *est surtout connu pour sa mauvaise odeur, qui provient d'une sécrétion produite par des glandes spéciales. Cette substance sert à l'Animal de moyen de défense, et rend même souvent insupportable la présence d'un individu mort.*

Le putois est beaucoup plus grand que l'hermine et la belette ; il peut atteindre au maximum de sa croissance 35 cm de longueur, plus 15 pour la queue. Sa douce



A. Margiocco

Ci-dessus, le putois *(Mustela putorius)* chasse ses proies, non seulement au bord des eaux douces, mais aussi dans les poulaillers et les clapiers.

Ci-dessous, le blaireau *(Meles meles)* est le plus grand Mustélidé de la faune occidentale.



Titus

fourrure est très foncée sur les parties inférieures du corps, alors qu'elle est de couleur rouille sur les flancs; un « masque » blanc caractéristique orne sa face. Cet Animal est assez répandu dans toute l'Europe, surtout au bord des eaux douces : il y chasse les Poissons et les grenouilles, mais capture aussi des proies terrestres.

LE FURET

Le furet (Mustela furo) *est utilisé dans certaines régions pour la chasse au lapin. On le lâche dans un terrier dont les issues sont surveillées par les chasseurs. C'est en fait une forme albinos du putois : il a un pelage jaunâtre et les yeux rouges.*

Son origine est mystérieuse : pour les uns, le furet nous vient d'Afrique du Nord, pour d'autres, du Moyen-Orient. Il arrive parfois que des furets domestiques prennent la clef des champs : ils s'y croisent avec des putois, pour donner un produit hybride, le furet putoisé, au pelage intermédiaire.

Le thème de la chasse au furet a été magistralement exploité par l'écrivain animalier Louis Pergaud dans son récit l'Exécution du traître. *Il imagine que le putois, la belette, la fouine et la martre veulent en finir avec Jaunissard, le furet. Pour eux, celui-ci est un traître, un vendu, qui collabore avec l'homme, et donc les prive de nourriture. Le putois le surprend au cours de sa chasse et l'exécute.*

Un autre proche parent du putois est le vison (Mustela lutreola). *Long de 34 cm, avec une queue de 14 cm, il a un pelage châtain uni; seuls son museau et son menton sont blancs. Il hante marais et cours d'eau, où il plonge avec habileté grâce à ses palmures. Il se nourrit de grenouilles et de Rongeurs, et s'attaque même au rat musqué.*

Le vison était autrefois répandu en France : actuellement, il subsiste surtout dans le bassin de la Loire et dans le Sud-Ouest. Les fourrures de vison viennent de l'espèce américaine, qui fait l'objet d'un élevage assez important.

LE BLAIREAU

Le blaireau (Meles meles) *est un Mustélidé nettement différent de ceux dont nous avons parlé jusqu'ici. Cette espèce, encore assez commune dans toute l'Europe, est de grande taille et massive. Le blaireau atteint en effet une longueur de 70 cm, plus 20 cm pour la queue, et peut peser 20 kg.*

Sa fourrure, dont on utilisait surtout les longs poils de la queue pour faire des « blaireaux » à raser et des pinceaux d'excellente qualité, est grisâtre sur le dessus et sur les flancs, et noire à la poitrine, au ventre et aux pattes; deux larges bandes noires courent sur les deux côtés de la tête, donnant au blaireau un faciès caractéristique.

Cet Animal possède de très robustes griffes fouisseuses. En effet, pendant le jour, il se réfugie dans une tanière, qu'il creuse au pied d'un rocher, à laquelle il accède par une longue galerie. D'autres tunnels partent d'une chambre centrale, dans différentes directions. Ces souterrains servent d'issues de secours.

Le blaireau recherche notamment les rabouillères pour dévorer les lapereaux. Toutes sortes d'Animaux, de l'escargot à la vipère, figurent à son menu. En outre, quand il en a la possibilité, il exploite les vergers et les vignobles.

La femelle met bas, vers février, deux ou trois jeunes, qui resteront deux mois dans leur terrier natal. La reproduction du blaireau présente des modalités curieuses, étudiées par R. Canivenc. La gestation de la femelle dure environ un an : en fait, l'œuf ne s'implante dans la paroi de l'utérus qu'au bout de dix mois, c'est le phénomène de la nidation retardée. A peine la femelle a-t-elle mis bas qu'elle s'accouple à nouveau.

Il existe bien d'autres Mustélidés à travers le monde. Le glouton (Gulo luscus), *qui vit en Scandinavie, a un peu une allure d'ourson : il chasse les rennes à l'affût. La mouffette ou skunks* (Mephitis mephitica), *à livrée noir et blanc, habite l'Amérique du Nord.*

Enfin, le ratel (Mellivora capensis) *d'Afrique tropicale se singularise par son pelage bicolore, noir dessous et blanc dessus, et ses mœurs : ce mangeur de miel se fait guider jusqu'aux nids d'abeilles par un Oiseau, dénommé pour cette raison l'indicateur.*

L'ÉCUREUIL ET LES PETITS RONGEURS

C'est toujours une joie que de voir un écureuil s'aventurer agilement jusque sur les rameaux les plus fins des arbres. On peut réussir à l'apprivoiser, mais il est beaucoup moins remarquable en captivité, loin de son milieu naturel, c'est-à-dire les forêts de châtaigniers, de chênes, de hêtres et surtout de Conifères, sapins et pins.

Largement répandu, et par conséquent adapté à des climats variés, l'écureuil préfère les forêts sèches et de haute futaie, surtout lorsqu'il peut y trouver en abondance des graines et des fruits secs. Il fait toutefois des incursions dans les jardins et les vergers proches des bois, pour y faire sa cueillette. L'écureuil d'Europe (Sciurus vulgaris) *est un arboricole parfait. En effet, il pèse tout au plus 250 g à l'âge adulte, sa colonne vertébrale est très souple, et ses pattes — pourvues de robustes griffes — lui permettent de s'agripper solidement aux troncs et aux branches. Ses pattes postérieures, plus longues et plus robustes que les antérieures, lui permettent de sauter d'une branche à l'autre. Sa queue, qui est toute touffue et porte de longs poils, sert de balancier. Ce gracieux Animal n'est jamais en repos, si ce n'est pour manger. Il est toujours en train d'aller de bas en haut des arbres, et réciproquement, faisant aussi de courts trajets à terre, où il avance par bonds en s'arrêtant brusquement de temps en temps ; il est difficile à attraper, aussi bien pour l'homme que pour les Animaux.*

Son agilité lui permet d'échapper facilement à ses ennemis, qui sont notamment les renards et les Rapaces. Il est, toutefois, fréquemment la proie de la martre, aussi rapide que lui pour grimper aux arbres et très bonne chasseresse. Dans certains pays, il va manger dans la main des promeneurs : ce n'est pas encore, hélas! le cas en France.

LE REPAS DE L'ÉCUREUIL

Tout le monde a vu, au moins en photographie, un écureuil en train de manger. Agrippé par ses pattes postérieures à une branche, le corps droit, les yeux fixes et les oreilles tendues pour écouter les moindres bruits, il tient sa nourriture entre ses pattes antérieures, depuis les pommes de pin qu'il épluche avec sa bouche pour en retirer les graines, jusqu'aux bourgeons, aux pousses tendres, à l'écorce verte, aux graines et aux Champignons.

Cependant, il est surtout friand de noisettes et de noix : il les porte à la bouche, les tourne et les retourne, leur enlève la coque après l'avoir fait éclater avec ses dents, et en absorbe la graine oléagineuse. Mais cet Animal n'est pas toujours aussi innocent qu'il le paraît, car c'est aussi un prédateur d'œufs et d'oisillons.

Tout le monde connaît son habitude d'accumuler des réserves de nourriture pour la mauvaise saison. Il cache ses provisions dans des trous et des fentes naturels ou creusés par l'Animal, à terre ou dans les arbres, en des lieux abrités : il accumule des fruits (notamment des baies) et des graines. Il les consomme lors des jours de mauvais temps, quand il ne peut pas sortir de son refuge. Mais ses provisions ne lui sont pas toujours suffisantes en hiver, et, en outre, il oublie souvent où il les a mises... Dans les régions les plus septentrionales d'Europe, ce Rongeur effectue de véritables migrations en automne, fuyant au sud devant le froid.

L'un des plus intéressants aspects des mœurs de l'écureuil est la construction de son nid. En réalité, il possède habituellement plusieurs habitations, au nombre de trois ou quatre en moyenne. Certaines ne sont que des abris temporaires, une autre est sa demeure principale, où il passe les nuits et l'hiver, et où il se reproduit. Il utilise ingénieusement les nids abandonnés par les pies et

J. Markham



Le repas de l'écureuil : attentif aux moindres bruits, agrippé sur ses pattes postérieures, il tient sa nourriture entre ses pattes antérieures.

d'autres Oiseaux, et les aménage à sa façon. Bien souvent, il s'installe dans les trous d'arbres : il les élargit avec ses dents, les revêt de mousse ou d'autres matériaux doux, et les protège contre le milieu extérieur. Enfin, il peut construire un nid de toutes pièces, à l'aisselle d'une branche d'arbre.

Le nid principal est préparé au printemps, lorsque approche le moment des amours. La constitution des couples n'est pas du tout pacifique, puisqu'elle est toujours précédée par de cruelles luttes entre mâles, pour la conquête d'une seule femelle, laquelle s'unit avec le vainqueur de la bataille ; le couple reste uni pendant toute la saison de reproduction. Les femelles mettent bas deux portées annuelles, l'une au printemps, et l'autre en été, avec au total six jeunes par an environ. La durée de la gestation est d'environ un mois et demi.

Le cycle génital de l'écureuil est très curieux, puisque — cas unique dans la faune française — le repos sexuel du mâle a lieu en été. La pleine activité génitale de celui-ci survient donc en hiver. La gestation se situe entre février et juin. Toutefois, la femelle ne présente pas de phase de repos total. Il y a donc, chez l'écureuil, une dissociation entre les cycles des deux sexes.

LE HAMSTER DORÉ

Depuis une vingtaine d'années, un autre Rongeur est devenu le « chouchou » de bien des familles : le hamster doré (Mesocricetus auratus). *Bien dodu, l'œil vif, il amuse petits et grands par ses pitreries : un vrai clown en cage.*

Sait-on que tous les hamsters élevés à travers le monde sont cousins ? Ils descendent tous d'une même femelle gravide capturée en Syrie vers 1935. Cette femelle présentait une anomalie : elle avait un pelage anormalement rouge. Ce spécimen « érythrique » est l'ancêtre des milliers de hamsters élevés aujourd'hui en captivité. Des spécimens blancs ou isabelle s'observent aussi dans les élevages.

Le pelage du hamster doré est donc roux vif, mais il est noirâtre sur le crâne et blanc au ventre. Nez et pattes sont roses, comme la très courte queue : 1 à 2 cm pour une longueur corporelle de 15 à 18 cm.

Tranquillement assis sur son séant, le hamster grignote sa nourriture, à l'aide de ses pattes antérieures. On trouve dans le commerce toutes sortes de friandises à son intention : croquettes, sandwiches, granulés, etc.

Cette espèce a la particularité de posséder de vastes abajoues dans lesquelles elle emmagasine sa nourriture : ce sont des prolongements de la cavité buccale qui pénètrent jusqu'à mi-hauteur de la cage thoracique.

Le hamster est de mœurs surtout nocturnes ; il dort souvent dans la journée, replié en boule ou allongé sur le dos, les yeux cachés derrière de petites fentes obliques. A l'occasion, il souffle, émet des cris rauques ou grince des dents.

Il ne faut pas confondre le hamster doré, espèce aujourd'hui vraiment domestique, avec son parent le grand hamster (Cricetus cricetus), *plus gros et au ventre noir, qui vit dans les steppes et les collines d'Europe centrale ; en France, il n'habite guère que l'Alsace.*

Bien qu'on ne l'aime guère dans les habitations à la campagne, la souris est néanmoins un petit Animal sympathique.



A. Margiocco



A. Margiocco

Par sa forme svelte, le loir rappelle un peu l'écureuil ; son pelage est soyeux et brun clair.

SOURIS ET RATS

La souris grise (Mus musculus) *nous est aussi familière, bien qu'actuellement, il ne soit pas fréquent de la trouver dans un appartement citadin, car la gent trotte-menu, en général, ne vit plus que dans les sous-sols, les greniers et les égouts.*

Ainsi le rat d'égout ou surmulot (Rattus norvegicus) *sort rarement pendant le jour de ses refuges ; il préfère chasser la nuit ; c'est un très important prédateur, comme on le sait, et il provoque même des dégâts parmi les poussins, les poules, les lapins et les porcelets nouveau-nés. Le surmulot peut en outre transmettre par ses puces et ses poux ou ses déjections de graves maladies comme la peste et la spirochétose ictéro-hémorragique.*

Très répandus dans les villes, les surmulots sont l'objet d'une lutte acharnée : la dératisation emploie surtout aujourd'hui des anticoagulants, produits que les rats absorbent et qui provoquent chez eux des hémorragies. Le rat noir (Rattus rattus) *a les oreilles et la queue plus grandes que le surmulot ; il est aussi moins citadin.*

La souris, plus sympathique, provoque beaucoup moins de dégâts. On la trouve encore fréquemment dans les maisons de campagne, où elle est cependant victime des chats et des pièges. Très rapide, elle court par à-coups, se levant parfois sur ses pattes postérieures, afin d'évaluer rapidement la situation.

Elle n'est guère moins prolifique que le surmulot : après vingt jours de gestation, la femelle met au monde jusqu'à sept petits, qui deviennent adultes en un peu plus d'un mois. Elle peut faire jusqu'à dix portées par an !... C'est justement parce qu'elle se reproduit activement qu'on ne l'aime guère dans les habitations, où il suffit toutefois d'un peu d'ordre et de propreté pour lui rendre la vie difficile.

Les souris blanches ou albinos, à yeux rouges, élevées en cage, sont une variété domestique de la souris grise. Il leur faut pour nourriture un peu de lait et quelques friandises qu'elles viennent prendre bien vite dans la main de leur maître. Malheureusement, elles sentent plutôt mauvais.

L'ordre des Rongeurs, le plus important, par le nombre des espèces, de la classe des Mammifères, compte bien d'autres représentants en Europe. Il n'est pas possible de les citer tous ici. Nous avons déjà parlé longuement du castor et de la marmotte.

Le loir se rapproche de l'écureuil par ses mœurs arboricoles ; son nom est, à la campagne, souvent attribué à tort à son parent le lérot, reconnaissable aux bandeaux noirs qui barrent ses yeux. Les campagnols comptent de très nombreuses espèces : ce sont de petits Rongeurs à museau arrondi, sujets à des pullulations périodiques. Le mulot se reconnaît à ses grandes oreilles et à sa longue queue.

Et puis, il y a les intrus, les envahisseurs, originaires d'autres continents : le rat musqué nord-américain et l'énorme ragondin sud-américain que l'on vend dans certaines boucheries parisiennes. En Grande-Bretagne, l'écureuil gris d'Amérique du Nord a refoulé l'écureuil européen. Comme quoi il ne faut jamais se hasarder à introduire des espèces étrangères, sauf sérieuse étude préalable.

LES RENARDS

Proches parents du chien et du loup, les renards peuplent l'Europe, l'Asie, l'Afrique et l'Amérique. Ce sont, eux aussi, des Carnivores, de la famille des Canidés.

Parmi leurs nombreuses espèces, la plus connue est le renard roux de nos régions (Vulpes vulpes). *C'est l'un des Carnivores les plus populaires, surtout en raison de la ruse qu'on lui prête avec une certaine exagération : le* Roman de Renart *et les* Fables *de La Fontaine sont là pour le prouver...*

Il s'agit toutefois d'un très bel Animal, élégant et fort agile. Un spécimen adulte mesure 70 cm, plus la longue queue de 45 cm.

Sa fourrure, dense et douce, est roussâtre aux parties supérieures, alors que les parties inférieures, les lèvres et les joues sont blanchâtres. Ses oreilles et la base de ses pattes sont noirâtres. La queue est blanche ou blanchâtre à l'extrémité. La couleur de la livrée varie selon les individus, et même, en certains territoires, les renards présentent une livrée constante, différente de celle de spécimens provenant d'autres endroits, ce qui fait que certains auteurs considèrent l'existence de plusieurs sous-espèces. On nomme renards charbonniers des spécimens noirâtres.

LES MŒURS DU RENARD

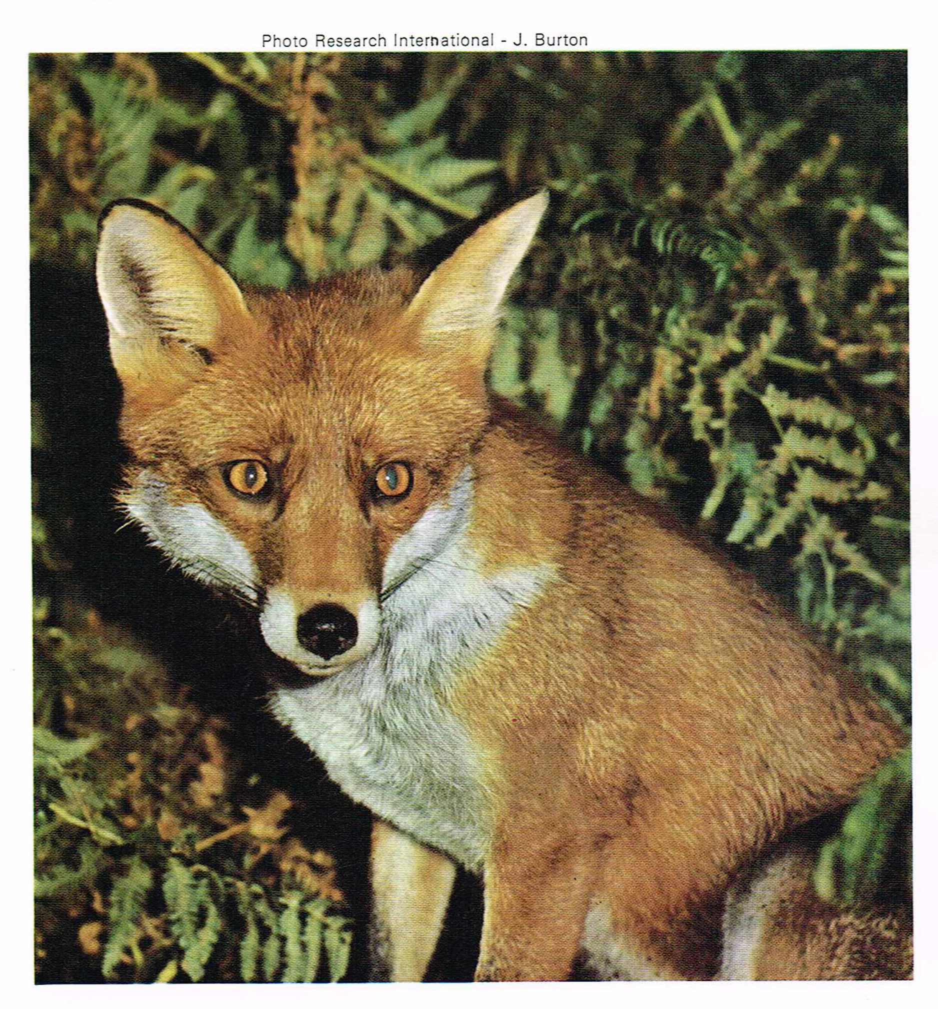
Le renard ne forme pas des groupes importants, mais vit isolément ou par couples. Dans son territoire de chasse, qui peut être très étendu, il se creuse un confortable terrier, avec une spacieuse chambre, et parfois des locaux secondaires. Il parvient dans la chambre centrale par une galerie, d'où partent d'autres tunnels en différentes directions, qui constituent une série d'issues de secours. Le renard reste dans son terrier pendant les jours d'orage, durant la mauvaise saison et, pour les femelles, au moment de la mise bas. Il est intéressant d'observer que les renards peuvent aussi bien creuser leur propre tanière qu'utiliser des terriers déjà existant. Le blaireau est presque toujours, qu'il le veuille ou non, exproprié par le renard ; celui-ci cherche d'abord à le déloger, et, lorsqu'il n'y réussit pas par des moyens habituels, il le fait fuir en laissant à l'entrée de sa demeure ses excréments et son urine, dont l'odeur est nauséabonde.

Pendant la nuit, et même durant le jour, le renard chasse tout ce qu'il peut trouver : sa gloutonnerie est sans limites. Bien que sa nourriture soit constituée essentiellement par les rats et souris de toute sorte, il ne dédaigne pas les Insectes, notamment les scarabées et les sauterelles. Il chasse aussi des Mammifères de taille importante ; dans les zones où il y en a, il cherche à capturer les petits des chevreuils et des biches, bien que les mères puissent parfois le mettre à mal. Les lièvres et lapins de garenne lui échappent difficilement. Il n'hésite même pas à dévorer l'un de ses congénères quand il le rencontre pris au piège ou gravement blessé. Il lui arrive aussi de pêcher des Poissons et des Crustacés dans les torrents. En outre, il pénètre dans les jardins et les vergers, pour y manger des fruits, surtout des baies et du raisin, donnant ainsi raison à La Fontaine !

Il se rend indésirable lorsqu'il pénètre dans les locaux où l'on élève les Animaux de basse-cour. Il attaque alors les poules, les lapins et les pigeons. Il arrive même à voler des Animaux domestiques en plein jour et devant les yeux de leur propriétaire. C'est ce qui fait qu'il est l'un des Animaux les plus chassés, à l'aide de pièges, de collets et d'appâts empoisonnés. Pourtant, l'espèce ne semble pas près de s'éteindre.

Le cri du renard est un bref aboiement qui se termine par un fort jappement : quand l'Animal se sent en danger, il émet un grondement sourd ou un véritable hurlement.

Photo Research International - J. Burton



Le renard roux ressemble beaucoup au chacal et à certains Canidés, famille dont il fait partie.

L'époque des amours se situe à la fin de l'hiver. Alors, les mâles d'une même zone se battent férocement pour se disputer les femelles, et se font parfois de graves blessures.

Environ neuf semaines après l'accouplement, la femelle met bas de trois à huit petits, qui sont aveugles durant une douzaine de jours. Après la mise bas, la mère reste dans sa tanière, le père pourvoyant à la nourriture de sa nombreuse famille. A peu près vingt jours après la naissance, les petits peuvent sortir, et se postent devant la tanière, en l'attente de la nourriture que leur apportent leurs parents, qui chassent frénétiquement aux alentours. Ceux-ci capturent des rats, des Oiseaux, des grenouilles et des Insectes, de préférence vivants, afin que la progéniture s'habitue à attraper seule, un jour, ses proies.

Il est très difficile de découvrir une famille entière de renards, étant donné que les renardeaux sont soigneusement protégés de tout danger et que la mère les emmène immédiatement dans le terrier au moindre bruit. Mais il arrive que les renardeaux soient découverts quand, attendant leurs parents chargés de les nourrir, ils commencent à se lamenter.

A la fin de juillet, les renardeaux, désormais robustes, commencent à accompagner leur mère dans ses sorties,



T. Okapia

On ne peut s'empêcher d'être attendri par l'expression timorée de ce renardeau.

et apprennent rapidement à chasser, en vue de devenir tout à fait indépendants.

On peut essayer d'élever en captivité de jeunes renards capturés, mais on n'y réussit pas toujours, car l'Animal reste souvent sauvage et son odeur est fréquemment insupportable.

LE RENARD BLANC ET LE FENNEC

Le renard blanc (Alopex lagopus) *et le fennec* (Fennecus zerda) *sont proches de notre renard, bien qu'on les ait classés dans deux genres différents.*

Le renard blanc ou polaire, ou encore arctique, habite uniquement les zones polaires d'Amérique, d'Europe et d'Asie. Il est plus petit que le renard roux et présente une livrée différente selon la saison. Durant le court été arctique, sa fourrure est en effet gris brunâtre, alors que son poil devient tout blanc pendant l'hiver, ce qui permet à l'Animal de se confondre parfaitement avec la neige. A la différence du renard roux, le renard arctique vit en petites troupes, qui cherchent leur nourriture pendant le jour et même la nuit. Il se nourrit de Rongeurs, de petits Oiseaux, d'œufs, et de tout ce qu'il peut trouver à manger, y compris les excréments humains. Alors que le renard roux fuit l'homme, cette espèce n'a pas peur d'entrer dans les cabanes à la recherche de nourriture. Son plus grand ennemi est toujours le chasseur : en effet, on en capture un bon nombre à l'aide de pièges, car sa fourrure est très recherchée. On élève artificiellement ce renard, pour répondre à la demande croissante de la pelleterie. La majeure partie des peaux provient des élevages de Russie septentrionale et de l'Alaska.

Ci-dessous, un renard blanc dans sa livrée hivernale.



S.E.F.



S. Prato



Ci-dessus, le renard du désert ou fennec, aux grandes oreilles et au pelage couleur sable.

Le fennec ou renard du désert n'a pas une belle fourrure. C'est par ailleurs un très gracieux Animal, aux grandes oreilles et au pelage couleur sable. Il habite le Sahara. Surtout actif pendant la nuit, il chasse essentiellement des gerboises et autres Rongeurs. Il ne dédaigne pas les petits Oiseaux, leurs oisillons et leurs œufs, ni les petits lézards. Les ennemis de ce gracieux habitant du désert sont, plutôt que l'homme, les Rapaces et certains Carnivores.

LE RENARD ET LA RAGE

Au cours des dernières années, les renards ont beaucoup fait parler d'eux à propos de la rage. Un jour de 1968, un renard enragé fut capturé en Lorraine. Ce fut le signal de l'alerte. Venant de l'Est, l'épidémie de rage, véhiculée pour une bonne part par les renards, s'étendit à travers le nord-est de la France.

Actuellement, la rage, progressant au rythme de 10 à 20 km par an, atteint la région parisienne et la Bourgogne. Faut-il donc, pour enrayer son avance, exterminer les renards ? Certainement pas. Une destruction exagérée de ceux-ci aurait pour conséquence une multiplication de petits Rongeurs, qui risqueraient de devenir des vecteurs de rage beaucoup plus difficiles à surveiller. De plus, les renards d'Europe centrale, plus dangereux, auraient tendance à combler la place laissée vide.

Une méthode plus souple a d'ailleurs été mise au point en Allemagne : elle consiste à vacciner les renards à leur insu, en déposant à l'entrée de leur terrier des appâts contenant du vaccin...

Pour en savoir plus sur les mœurs et les déplacements des renards, les zoologistes ont entrepris leur étude au moyen de la biotélémétrie. Les spécimens capturés sont munis d'un collier de bonze, pesant 100 g et pourvu d'un émetteur de radio et d'une antenne. Les renards sont ensuite relâchés : leurs moindres déplacements sont connus grâce à un poste récepteur. Maître Goupil peut chasser, manger, dormir, vagabonder à sa guise : l'antenne l'espionnera sans relâche...

LE CHEVAL

Le cheval est l'aboutissement d'une longue évolution, puisque ses ancêtres remontent à l'Éocène, c'est-à-dire il y a 60 à 70 millions d'années. Les chevaux se sont donc graduellement perfectionnés pendant cette longue période. Les étapes de leur évolution sont bien connues, grâce aux fossiles (restes de crânes, de dentures et de pattes des représentants des diverses espèces).

Le premier Équidé que nous connaissions était un petit Animal, de la taille d'un chien et possédant des pattes à quatre ou cinq doigts, probablement armés de griffes; c'était un habitant des forêts, qui devait se nourrir tout particulièrement des feuilles des arbrisseaux.

La taille des chevaux, après ce petit Équidé de l'Éocène nommé Eohippus, s'accrut peu à peu. De la taille d'un chien, ils passèrent à celle du mouton, avec le Mesohippus de l'Oligocène; ce dernier connut un milieu naturel nouveau, à savoir d'immenses prairies ou des steppes, et subit toutes sortes de modifications structurales. Les pattes de cet Animal appuyaient essentiellement à terre par le doigt du milieu, le premier et le cinquième doigt ayant disparu, tandis que le deuxième et le quatrième étaient réduits à peu de chose et ne touchaient plus terre : la course devenait ainsi plus facile et plus rapide. La denture s'était aussi adaptée à un nouveau régime alimentaire, constitué d'herbes des prairies au lieu des feuilles de buissons.

Au Pliocène, le genre Hipparion, de taille encore plus grande, peuplait pratiquement toutes les terres alors émergées, de l'Asie occidentale à l'Europe, à l'Afrique, et à l'Amérique du Nord et du Sud. Ce fossile avait encore des pattes à trois doigts, dont seul le médian, comme chez le Mesohippus, touchait encore terre.

Les membres et les dents du genre suivant, le Pliohippus, avaient le même aspect que ceux du cheval actuel; l'Animal avait à peu près la taille d'un zèbre et habitait, au Pliocène, l'Amérique du Nord. Le genre Equus, le cheval, apparut donc en Amérique. Il émigra dans l'Ancien Monde et s'éteignit dans le Nouveau Monde où les colons européens le réintroduisirent.



On voit ici un pur-sang à robe alezane; on saura que la couleur de la robe et les taches blanches apparaissant éventuellement sur le front et sur les pattes des chevaux font l'objet d'une nomenclature spéciale.

LE CHEVAL ACTUEL

Chez nos chevaux, le pied n'est donc représenté que par un doigt, le troisième, fort modifié, dont la dernière phalange porte un ongle très développé, en forme de sabot. Il ne possède plus que des vestiges infimes des deuxième et quatrième doigts, c'est-à-dire deux petits ongles pointus, dont la présence n'est toutefois pas constante, au-dessus du sabot. Nous ne décrirons pas, même brièvement, la morphologie externe du cheval domestique, que tout le monde connaît. Nous ferons seulement remarquer que sa denture est celle d'un herbivore : elle peut être dépourvue de canines chez les mâles, et elle n'en possède jamais chez les femelles; il existe, entre les incisives et les prémolaires, un espace vide, la diastème, où l'on insère le mors.

Les dents subissent une usure continue, mais croissent aussi continuellement, à partir de la racine; leur degré d'usure permet de donner avec une certaine approximation l'âge d'un individu.

Existe-t-il encore des chevaux qui n'aient pas été réduits à la domestication? Malgré la chasse intense qui lui fut faite à la fin du siècle dernier et au début du présent siècle, on trouve encore aujourd'hui à l'état sauvage le cheval de Prjewalski, qui doit son nom à celui de l'officier russe qui le découvrit en 1879. Cet Animal vit dans le Gobi et l'Altaï, par petites troupes que dirige un vieux mâle : au total, cette forme ne compte plus que quelques dizaines d'exemplaires sauvages; d'autres survivent dans les zoos, où leur reproduction est assurée.

C'est d'un type certainement très voisin de ce cheval que dérive notre Equus caballus domestique; il ne faut pas le confondre avec les chevaux redevenus sauvages après une longue cohabitation avec l'homme, comme il en existe en certaines zones d'Amérique du Nord, en Camargue, dans les Pyrénées, etc.

Le cheval de Prjewalski n'a ni l'élégance ni la taille d'un beau cheval arabe. Il est haut tout au plus de 1,50 m au garrot; sa silhouette est trapue, et sa tête est très grande; il possède de petites oreilles; sa crinière est longue et hérissée, de même que sa queue; enfin, sa robe est brun clair.

Malheureusement, il est des victimes dans la famille des chevaux, à cause de la chasse à outrance faite par l'homme : c'est ainsi que fut abattu, également en 1879, le dernier représentant du tarpan, cheval sauvage des steppes russes méridionales, à peu près de la même taille que le cheval de Prjewalski, mais plus élégant et à livrée d'un beau gris. Le tarpan a été « recréé » par des croisements entre races domestiques.

On trouve encore à l'état sauvage, en Europe, un cheval que certains auteurs font descendre directement des chevaux préhistoriques, mais qui est plus probablement un type redevenu sauvage : le cheval de Camargue, le célèbre « Crin-Blanc » qui habite, comme on le sait, le delta du Rhône; il est agile, puissant et de couleur gris cendré; il forme des bandes que guide un mâle, le long des étendues sablonneuses, à la limite de la mer. Nous ne le décrirons pas, car il a été montré de nombreuses fois au cinéma et à la télévision.



P. Martini

Ci-dessus, deux chevaux camarguais.

L'HISTOIRE DU CHEVAL

Quelle est l'histoire de la domestication du cheval? L'homme le connaissait déjà bien dès la préhistoire, tout au moins en Europe. Cela nous est prouvé par les peintures rupestres qui le représentent sur les parois des grottes. Il s'agissait peut-être de chevaux de taille plus réduite que celle des races actuelles, et ce sont seulement les bonnes conditions d'élevage — et surtout la nourriture abondante et saine — qui en firent accroître la taille et la force. Les hommes préhistoriques chassèrent les chevaux, dont les ossements s'amoncelèrent au célèbre ossuaire de Solutré, près de Mâcon. La domestication du cheval s'est produite dans les steppes d'Eurasie entre l'Ukraine et la Mongolie, aux alentours de 4000 avant J.-C. Certains peuples d'Europe centrale, tels les Germains, firent du cheval un Animal sacré; ils en élevaient des exemplaires à robe blanche dans les forêts dédiées à leurs divinités, et ils leur faisaient traîner les chars sacrés ou les sacrifiaient lors de cérémonies religieuses, en tirant souvent des présages de l'examen de leurs entrailles.

Le cheval est l'un des Animaux qui tiennent le plus de place dans les croyances et les traditions populaires. Que l'on pense à Pégase, à Bayard, le cheval des quatre fils Aymon, à la déesse-jument Epona des Celtes, à l'hippogriffe, etc. Les chevaux noirs ou blêmes annonçaient la mort, alors que le cheval blanc était symbole d'amour et de lumière.

Les utilisations du cheval sont innombrables. Durant des siècles, l'histoire, a-t-on pu dire, s'est faite à cheval. Au siècle dernier, des chevaux furent employés dans les mines, ainsi qu'Émile Zola le raconte dans Germinal *: certains vécurent plus de vingt ans sous terre, sans jamais remonter.*

C'est seulement au cours des derniers siècles qu'on a introduit dans les élevages équins la pratique de l'hybridation entre races différentes, orientales et occidentales, qui ont donné les nombreuses variétés actuelles de chevaux domestiques; on importe encore aujourd'hui des chevaux pur-sang arabes, afin d'améliorer ou de régénérer les races actuelles.

Il est difficile de délimiter avec précision les différentes variétés de chevaux existant de nos jours, justement parce que les nombreux métissages ainsi que la sélection artificielle en élevage ont abouti à la naissance de groupes très hétérogènes selon les pays.

LES RACES

On classe habituellement les chevaux en trois grandes catégories :

1° Les variétés dolichomorphes, représentées par des formes élancées et élégantes, rapides à la course, nerveuses, et toutes d'origine orientale, directement ou non; ce sont les races qui servent pour les courses, par exemple la race berbère et celle des pur-sang anglais.

2° Les variétés mésomorphes, le plus souvent métissées, robustes, mais également toujours harmonieuses, puissantes et rapides; on les utilise pour le trait léger; nous citerons parmi elles les races anglo-normandes, les races anglo-arabes et les poneys; ces derniers font aujourd'hui la joie des enfants dans les poney-clubs.

3° Les variétés brachymorphes, dont la souche originelle habitait l'Europe occidentale; elles comprennent des formes dont les muscles sont très développés et les pattes puissantes et trapues. Ces variétés sont remarquables pour les gros travaux, surtout agricoles, notamment du fait de leur caractère assez doux. Nous citerons parmi elles les races belge, bretonne et « shire ».

Le cheval arabe, champion par excellence, présente toute une série de caractères bien particuliers. Sa tête est petite. Ses petits yeux sont foncés. Il possède de petites oreilles mobiles. Son museau est charnu. Son cou, long et arqué, est porté par un corps déprimé, étroit du dos, mais large de la poitrine et de la croupe. Il a les cuisses fines. Il possède une crinière peu abondante, alors que sa queue est touffue, épaisse à la base et fine à l'extrémité. On comprend très bien que les peuples arabes et particulièrement les tribus bédouines tiennent en haute estime le cheval, si l'on pense aux conditions auxquelles cet Animal est soumis : comme il s'agit de peuples nomades, élevant du bétail dans des régions steppiques — ce qui les oblige à se déplacer continuellement — ils ont trouvé dans le cheval un compagnon fidèle et indispensable.

Le pur-sang anglais n'est pas aussi beau que son congénère arabe, mais est beaucoup plus rapide, et par conséquent plus apprécié pour le sport. Assez pur, du fait qu'il dérive du croisement — réalisé au XVIIIe siècle — entre des étalons arabes et des chevaux anglais, sa descendance est toujours bien connue, d'après l'arbre généalogique de chaque individu. Grâce à la sélection, on a pu obtenir des poulains de plus en plus rapides, mais moins élégants. Leur maigreur excessive en fait souvent des Animaux mal proportionnés, mais les qualités en course des « trois-ans » anglais sont vraiment remarquables, puisqu'ils accomplissent 850 m à la minute.

Notons surtout que le cheval, après une éclipse due au machinisme, connaît un renouveau extraordinaire : l'équitation, les concours hippiques, les randonnées équestres, le polo, les poney-clubs sont là pour le prouver. Le cheval intervient même dans la rééducation des handicapés.

Ci-dessous : l'homme utilise depuis fort longtemps le cheval comme bête de somme, de trait, et pour la plupart des travaux agricoles, pour lesquels on en a sélectionné des races spéciales.

M. Pedone

LE CHAT

Le chat est entré dans la vie de l'homme dès l'Antiquité. Il a été, semble-t-il, domestiqué par les Égyptiens, qui vénéraient la déesse chatte Bastet et qui momifiaient les chats après leur mort.

C'est justement en examinant les momies de chats égyptiens qu'on a pu préciser l'origine de nos chats domestiques, que l'on considère comme dérivant du chat ganté (Felis libyca), *qui habite encore actuellement l'Afrique et l'Asie. C'est une espèce qui mesure 50 cm de longueur, plus 25 cm pour la queue ; le poil de son dos et de ses flancs est jaune-roux et son ventre est blanc ; son dos, sa queue et ses pattes sont marqués de bandes plus ou moins foncées. Selon des travaux récents, une autre race asiatique aurait participé à la genèse du chat domestique.*

Les Égyptiens commencèrent à élever rationnellement les chats, pour ne pas avoir à en capturer des spécimens sauvages, et opérèrent ainsi une sélection artificielle, contribuant donc à la création des différentes variétés que nous connaissons aujourd'hui. Ils les utilisèrent pour la chasse aux Oiseaux d'eau dans les marais de papyrus. Une preuve de l'origine orientale du chat serait sa prédilection pour la chaleur.

Le chat a perdu, par suite de sa domestication, une partie de son caractère sauvage et de son agressivité, qui sont par ailleurs communs à tous les représentants de la famille des Félidés, à laquelle il appartient. Aimant se cacher, prédateur habile, il ne supporte pas le collier et aime la liberté des jardins et de la campagne. Il n'est même pas rare qu'il retourne à l'état sauvage : on appelle haret le chat redevenu sauvage.

LE CHAT SAUVAGE

On ne doit pas le confondre avec le véritable chat sauvage (Felis sylvestris), *aussi gros qu'un renard, et pesant de 5 à 8 kg. Cet Animal est facile à reconnaître à sa fourrure fauve et abondante et à sa queue annelée. On le rencontre encore dans presque toute l'Europe. En France, il est plus abondant qu'on ne le croit généralement : on le trouve en Lorraine, en Morvan, en Bourgogne, etc.*

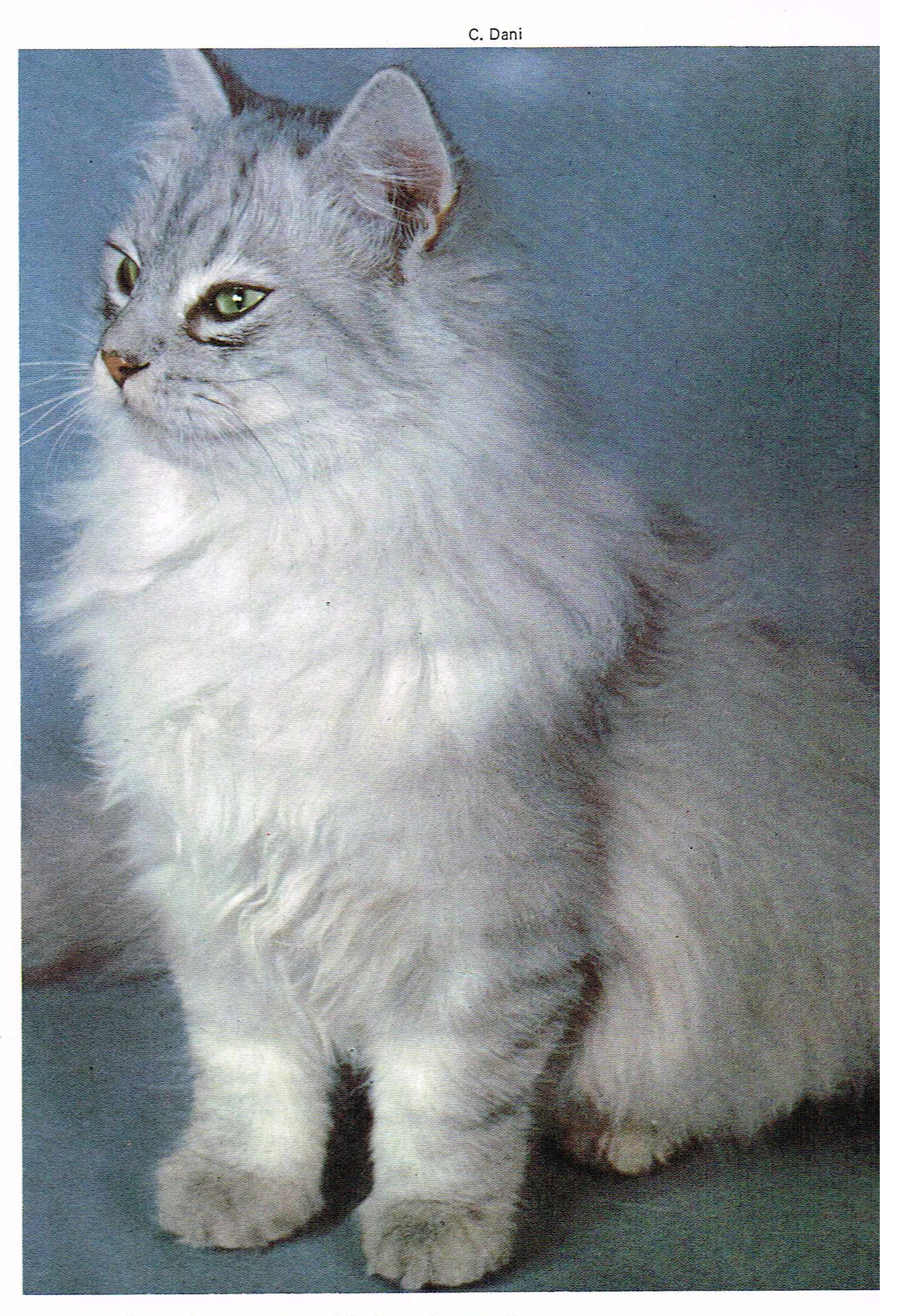
Chaque individu chasse et vit isolément. Les couples se forment uniquement au moment de la reproduction, et pendant le temps nécessaire au sevrage de la progéniture. Le milieu du chat sauvage est la forêt (il grimpe très bien), mais il va aussi dans les champs. La mise bas a lieu dans un trou d'arbre, un fagot, des ronces, voire une cabane... La technique de chasse du chat sauvage est classique pour un Félidé : il se déplace silencieusement, rampant à terre, et saute sur sa proie.

Il a une préférence pour les lièvres et les lapins de garenne, les mulots, les campagnols et les autres petits Mammifères. Il lui arrive de s'attaquer à des petits de chevreuils et à des faons ; naturellement, il ne dédaigne pas les Oiseaux, y compris les Oiseaux aquatiques, et pêche très habilement les Poissons. Sa férocité a été très exagérée : en fait, l'homme le terrorise, et il n'est pas impossible de l'apprivoiser.

LE CHAT DOMESTIQUE

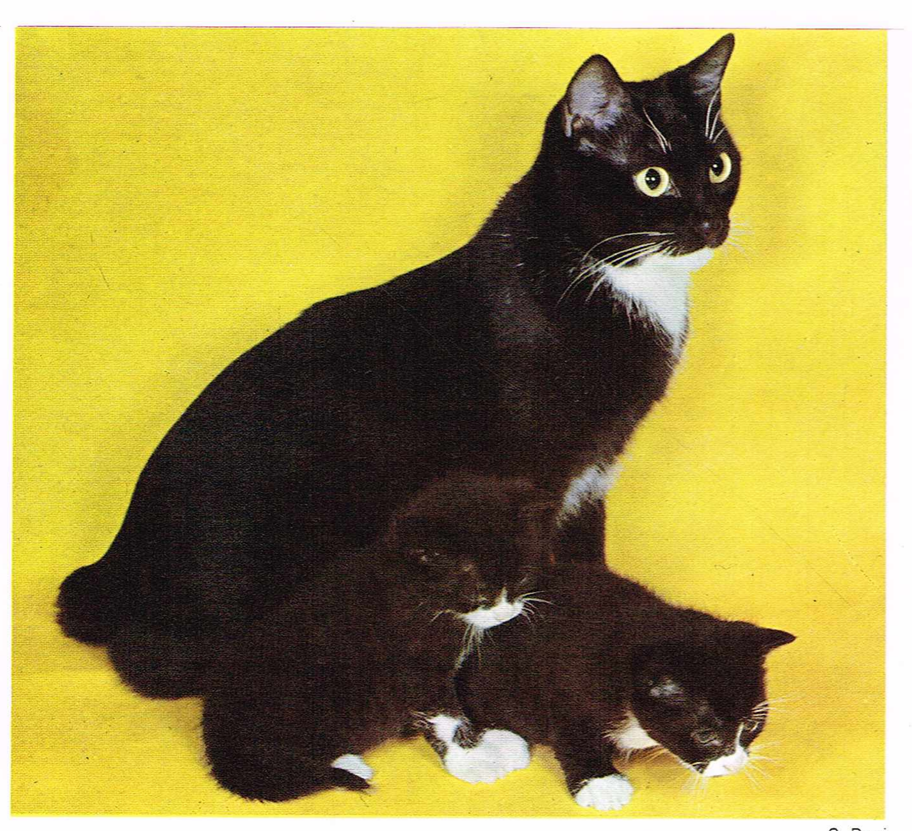
Revenons-en au chat domestique. Ses mœurs sont particulièrement intéressantes pendant la période des amours, soit essentiellement deux fois par an, en février et à la fin de juin. Les femelles font alors un concert nocturne, d'une voie aiguë et modulée, pour appeler à distance les mâles, généralement plus discrets. Peu après l'appel de la femelle, le mâle répond d'une voix profonde et va conquérir sa compagne ; il doit parfois livrer de furieux combats pour la posséder.

C. Dani



Le chat « domestique » est en fait le moins servile des Animaux domestiques. On voit ici un magnifique et jeune persan chinchilla.

Le langage du chat n'est pas seulement vocal : il comprend encore des signaux visuels (mouvements de la face, de la queue, des oreilles, etc.), des sécrétions odorantes (pour marquer le « territoire ») et le ronronne-



C. Dani

Ci-dessus : chatte européenne tachetée noir et blanc, avec ses chatons.

ment; sans doute produit par les cordes vocales, c'est une manifestation d'euphorie et aussi de soumission à l'égard de la mère ou du maître.

Lors de la mise bas, la chatte recherche un lieu caché, loin de l'homme; à la campagne, elle préfère généralement les fenils. Chaque portée est en moyenne de cinq ou six petits, après une gestation assez longue, qui dure de cinquante-cinq à soixante-cinq jours. Tout le monde sait la tendresse avec laquelle la mère soigne ses chatons, alors que le matou s'en désintéresse. La femelle, ayant confiance en ses maîtres, rapporte un beau jour, un par un, ses petits, qu'elle transporte dans sa bouche. Les chatons apprennent à se déplacer, à faire des bonds et à se jeter sur tout ce qui se déplace. La mère offre sa queue à leurs petits coups de patte et les laisse monter sur son dos. Après quelque temps, elle éveille chez eux l'instinct de la chasse, en leur apportant une souris vivante, en observant leurs réactions et en les encourageant de la voix.

Le chat chasse surtout pendant la nuit; il faut dire qu'il est très bien adapté pour ce faire. En effet, tous ses sens sont très développés, et sa vue est exceptionnelle. Ses pupilles sont, comme celles de tous les Félidés, très dilatables, lui permettant de percevoir le plus petit rayon de lumière : elles ont leur fenêtre qui s'ouvre au maximum dans l'obscurité; elles sont seulement fendues (verticalement) au minimum lorsqu'il fait grand jour, c'est-à-dire le matin. Ce mécanisme visuel particulier, qui s'est perfectionné au cours de l'évolution des Félidés, est un bon exemple d'adaptation anatomique aux nécessités précises de la prédation.

Comme presque tous les félins, le chat a des griffes rétractiles, qui ne touchent pas terre quand le chat se déplace silencieusement; quand il est bien disposé, il fait « patte de velours », mais les sort lorsqu'il attaque.

Le chat fut introduit en Europe dès l'Antiquité, mais son rôle y demeura longtemps obscur; d'autres Carnivores, comme la genette, étaient utilisés pour la destruction des Rongeurs. Et puis, ses mœurs crépusculaires, sa prétendue hypocrisie, ses allures énigmatiques valurent au chat d'être considéré comme un Animal diabolique.

Et ce fut pour lui la sombre période du Moyen Age : des milliers de chats furent brûlés vifs lors des réjouissances populaires, ou jetés du haut des cathédrales, ou encore enterrés vivants... C'est seulement vers le XVIIe siècle que le chat prit la place de choix que nous lui connaissons aujourd'hui.

LES RACES FÉLINES

Il existe une grande variété de races félines, semblables les unes aux autres du point de vue anatomique, mais différant beaucoup par le type et la livrée, ainsi que par le caractère et les mœurs. Il n'est cependant pas toujours facile de définir avec précision les caractères d'une race. Cela est dû à la grande liberté avec laquelle cet Animal s'accouple au cours de ses vagabondages nocturnes. En règle générale, on considère habituellement des races à poil long et des races à poil court.

Parmi les chats à poil court, il convient de citer en premier lieu notre humble mais gracieux chat tigré, dit tabby ou encore « chat de gouttière ».

Ses principaux caractères anatomiques sont un corps plus court que celui des autres races, une grosse tête assez large et un cou court et massif. Toutefois, c'est son pelage qui le distingue de tous les autres. Sa livrée varie beaucoup selon les individus, mais est souvent grise, brune ou rousse, et striée de bandes transversales plus foncées. Mais il peut présenter bien d'autres couleurs, être tout blanc, tout noir, noir et blanc, tout gris, gris et blanc, blanc et roux, tricolore (blanc, noir et roux), « écaille » de tortue, etc.

Les nouveau-nés du chat européen, comme ceux des autres races, naissent aveugles et édentés. C'est seulement à deux mois que poussent leurs dents de lait, remplacées ensuite par la dentition définitive, avec au total trente dents (dont quatre canines pointues et développées), dont des molaires à surface occlusale hérissée de protubérances pointues.

Notre chat est un Animal vif, intelligent et agréable : ceux qui prétendent qu'il est plus attaché à sa maison qu'à ses maîtres ignorent l'attachement que le chat montre à l'homme lorsqu'il est traité avec affection. Cela vaut encore plus pour les femelles dont on accepte les jeunes à la maison, et pour les chats mâles « coupés ».

La nourriture du chat est à base de viande, de bœuf ou de cheval; il lui faut aussi du Poisson; la rate et le mou sont peu nourrissants et très difficiles à digérer pour lui. On complétera ce régime par un peu d'œuf cru ou cuit, un peu de foie et des légumes cuits (ceux-ci pour les sels minéraux qu'ils contiennent). Des aliments tout préparés sont maintenant en vente dans le commerce.

LE SIAMOIS ET LE PERSAN

Le siamois est aussi un chat à poil court; il est fin, élégant et fier. Importé en Grande-Bretagne au siècle dernier, puis répandu dans toute l'Europe, ce chat est remarquable par sa belle couleur crème plus ou moins clair, avec des taches brun foncé sur son museau pointu, sur sa queue, sur ses oreilles et à ses pattes; il a de très beaux yeux généralement bleus. Bien qu'assez réservé et un peu sauvage, le siamois aime beaucoup l'homme; il montre une grande sensibilité aux compliments et aux caresses, et devient même jaloux quand son maître s'occupe d'un autre Animal ou, pire encore, d'un autre chat.

Quoique la couleur de sa livrée soit très semblable à celle du siamois, le chat birman est classé dans les races à poil long. Il a pour caractéristiques un nez camus, l'extrémité des pattes gantée de blanc, un corps plus robuste et une tête ronde.

Nous terminerons par la plus belle des races à poil long, la plus recherchée, et peut-être aussi la plus délicate à élever, le chat persan, jadis appelé angora. Il a le corps massif, les pattes courtes et la tête ronde. Sa grosse queue se termine par un beau panache de poils. Sa livrée peut être très variée, de l'argenté au crème, au gris bleuté (on la dit improprement bleue), au café au lait, au blanc, au « smoke », au noir et à toute sorte de variétés multicolores, tortue (c'est-à-dire crème, noir et roux), chinchilla (c'est-à-dire à poils blancs à la base et ombrés à l'extrémité) et marbrée (c'est-à-dire brune avec de grandes ombres noires).

Le persan est considéré, mais souvent bien à tort, comme un chat paresseux, peu intelligent et très vaniteux; il est en tout cas l'orgueil des expositions félines.

LE CHIEN

E. Lessing - Magnum



De l'énorme saint-bernard au minuscule chihuahua, les races de chiens actuelles sont d'une immense diversité. Pourtant, elles se rangent toutes dans une seule et même espèce, le chien domestique Canis familiaris. *Mais ont-elles toutes le même ancêtre sauvage ? La question reste posée.*

La famille des Canidés, qui comprend, outre le chien, le loup, le chacal, le renard, etc., semble descendre d'un Carnivore de l'Oligocène, c'est-à-dire de l'ère tertiaire : le Cynodictis. *C'est ensuite, au Pliocène, qu'apparaît le genre* Canis, *qui regroupe le chien et le loup.*

Au cours de l'ère quaternaire, certains Canidés vont se rapprocher peu à peu d'un nouveau venu sur la planète, un Mammifère glabre et bipède : l'homme. Une sorte de symbiose va s'établir entre ces animaux et lui.

Mais ces Canidés sont-ils loups, chacals ou autres ? Il semble bien que plusieurs espèces aient contribué à la genèse du chien domestique. C'est ce que l'on déduit de diverses découvertes paléontologiques et archéologiques.

Depuis toujours, le chien est étroitement mêlé à la vie de l'homme. Ci-dessus, détail d'un manuscrit du Xe siècle dans la cathédrale de Gérone en Espagne.

UNE ORIGINE COMPLEXE

Dans le nord de l'Europe, et spécialement à Maglemose, au Danemark, ont été trouvés les restes de deux sortes de chiens, qui vécurent tous deux voici 9 000 ans environ. Le premier avait la poitrine large, le museau court et les membres effilés : c'est le chien des tourbières, proche du chacal, et qui devait ressembler au samoyède actuel.

Ce « petit maglemosien » s'oppose au « grand maglemosien », qui, au contraire, descend vraisemblablement du loup. Ce chien de forte taille, aux mâchoires puissantes et au museau pointu, se retrouve dans les villages lacustres de la région alpestre.

Ces races étaient-elles déjà domestiques ? Un indice le laisse penser. Les ossements des gisements préhistoriques danois montrent des traces de dents de chiens :



Canis dingo, le dingo, chien sauvage vivant en Australie.

ceux-ci les rongeaient donc, et avec une fréquence telle qu'il ne pouvait s'agir de chiens sauvages.

Il est même possible de retracer le processus par lequel le chien est devenu domestique. C'est au célèbre éthologiste autrichien Konrad Lorenz que l'on doit une telle interprétation. Au cours de la préhistoire, des bandes de Canidés sauvages se seraient peu à peu rapprochées des tribus humaines pour profiter de reliefs de leurs chasses.

Au bout de quelque temps, les hommes auraient délibérément abandonné des restes de gibiers aux chiens. Ceux-ci auraient alors compris qu'il était de leur intérêt que les chasseurs capturassent beaucoup d'animaux. Et, un beau jour, voici qu'une horde de chiens encercle un renne, ou un cheval, et le met à la merci des hommes. Ceux-ci les récompensent en leur donnant des charognes particulièrement copieuses.

A ce stade, les chiens sauvages sont devenus des chiens de chasse. Un tel processus n'a rien d'invraisemblable. De nos jours encore, les Pygmées d'Afrique centrale chassent avec la coopération d'un chien demi sauvage, le basenji, qui leur rabat le gibier, mais conserve sa liberté.

DE LA PRÉHISTOIRE A L'HISTOIRE

Cependant, pour devenir véritablement domestiques, les Canidés de la préhistoire devaient franchir une étape de plus : la pénétration dans les demeures humaines. On peut imaginer qu'un jour, une fillette de l'époque néolithique a recueilli une jeune chienne perdue. Elle l'a rapportée chez elle, dans un village sur pilotis, et, après avoir vaincu les réticences de sa famille, l'a élevée.

Là encore, il s'agit d'un processus très plausible qui s'observe lui aussi chez les peuples actuels dits « primitifs ». Ceux-ci adoptent volontiers de jeunes animaux; les Australiens notamment gardent chez eux de jeunes dingos, les chiens sauvages de leur pays, qui, devenus adultes, prendront la clef des champs.

Le chien ne fut pas seulement domestiqué en Europe, mais aussi en Afrique. Deux types peuvent être distingués sur les célèbres fresques de Tassili, au Sahara. Le premier est un lévrier; le second, plus bas sur pattes, est un grand chien à tête large et au nez court.

Lorsque l'histoire commence au Proche-Orient, la place du chien y est d'emblée importante, de la Mésopotamie à l'Égypte. Les Sumériens possédaient des dogues, qui se répandirent ensuite à travers le monde : ils sont représentés sur des bas-reliefs.

Pour leur part, les Égyptiens élevèrent le chien au rang de divinité. Seth, le lévrier à queue fourchue, était honoré dès 4240 environ avant J.-C. Quant à Anubis, il est difficile de dire s'il s'agissait d'un chien ou d'un chacal. Les races canines des Égyptiens étaient déjà variées puisque leurs stèles et leurs sculptures représentent des lévriers, des dogues et même des bassets, issus d'une des plus anciennes mutations (variations héréditaires) dont l'histoire ait gardé le souvenir.

MÉTIERS DE CHIENS

Au cours des siècles, le chien a été employé par l'homme à des tâches très diverses : pas moins d'une trentaine de « métiers » de chiens peuvent être dénombrés. Il y a bien sûr les chiens de chasse, que l'on répartit en chiens d'arrêt, chiens couchants, terriers et chiens courants. Puis les chiens de garde et de défense, souvent utilisés par la police ou les douaniers : les chiens de ces derniers font la guerre à ceux des contrebandiers...

Les chiens de berger aident à la garde des troupeaux; les chiens de mer — le terre-neuve essentiellement — sauvent les naufragés; en montagne, c'est le saint-bernard qui secourt les voyageurs égarés.

Et puis, voici les chiens de trait et de traîneau, les chiens de course (lévriers qui s'affrontent sur les cynodromes), les chiens de cirque, de music-hall, de cinéma...

Les chiens d'aveugle apportent une aide inappréciable à leurs maîtres. Les chiens truffiers sont chargés de trouver les truffes. Les chiens de guerre sont parfois obligés de sauter en parachute; jadis, on les affublait de masques à gaz. Les chiens de combat devaient s'affronter en luttes sanglantes. Quant à l'emploi des chiens dans les laboratoires, il suscite des controverses.

Plus récemment, sont apparus les chiens géologues, capables de déceler des minerais enfouis dans la terre, et les chiens chercheurs de drogue : ce sont des labradors qui détectent la drogue dans les valises, les malles, les colis; le service des douanes de l'aéroport d'Orly en utilise désormais. Et n'oublions pas Laika, la petite chienne cosmonaute de Spoutnik II.

Mais la fonction la plus insolite jamais dévolue à un chien, c'est tout bonnement la royauté... Au XIe siècle, le roi de Norvège, désireux de se venger de ses sujets qui l'avaient évincé, leur laissa le choix, pour lui succéder, entre un esclave et un chien.

Ils choisirent ce dernier. C'était un dogue, qui monta sur le trône sous le nom de Saur Ier. Il fut dès lors traité en roi : il avait une cour, une garde, des officiers. Lorsqu'il pleuvait, les courtisans prenaient dans leurs bras Sa Majesté canine pour qu'elle ne se mouillât point les pieds! Saur fut, hélas! tué par un loup. Un mausolée fut élevé en son honneur.

Même s'ils n'ont pas connu une semblable destinée, tous les chiens ont droit à notre amitié et à notre estime. Nous ferons connaissance, la semaine prochaine, avec leurs multiples races.

LE CHIEN

S. Prato



Il est très difficile de classer les innombrables races de chiens. Nous adopterons ici une classification fondée à la fois sur leur aspect et sur leur utilité.

Les bergers, primitivement employés à la garde des troupeaux, ont une forte taille : le plus courant est le berger allemand, mais il y a aussi ceux de Belgique, le briard, le picard, etc. Le komondor a un étrange aspect avec sa fourrure blanche et hirsute. Le colley ou berger d'Écosse a belle allure avec son museau effilé et ses yeux en amande. Les bouviers, comme celui des Flandres, gardent les bovins.

Les chiens de garde sont des animaux très impressionnants. Le dogue allemand ou danois peut être dangereux ; les dogues de Bordeaux et celui d'Angleterre ont une grosse tête plissée. Parmi les chiens de défense, on classe le boxer, devenu très populaire, le dobermann, à pelage noir et feu, l'airedale à poil broussailleux et le schnauzer géant qui porte moustaches.

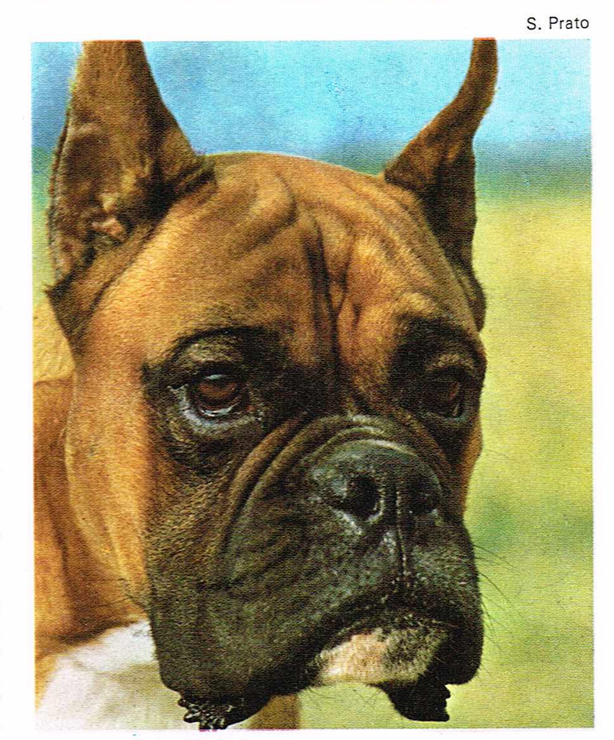
DU SAINT-BERNARD AU COCKER

Les chiens de sauvetage sont entourés d'une auréole de légende. Le saint-bernard, énorme chien alpestre, a sauvé de multiples alpinistes en difficulté ; le chien des Pyrénées lui ressemble beaucoup. Le terre-neuve, à pelage noir, nage à merveille et peut secourir des noyés. Les chiens de trait : esquimau, samoyède, husky, sont fort utiles aux populations arctiques.

On peut répartir les chiens de chasse en plusieurs catégories. Les terriers, à l'origine, poursuivaient renards ou blaireaux sous terre. Le fox-terrier, aux hautes pattes, est le plus connu. Le bedlington-terrier ressemble à un petit agneau. Et il y a encore le bull-terrier, le cairn-terrier, le gentil terrier écossais, le skye-terrier, dont les poils tombent jusqu'à terre, etc. Le basenji, ou terrier du Congo,

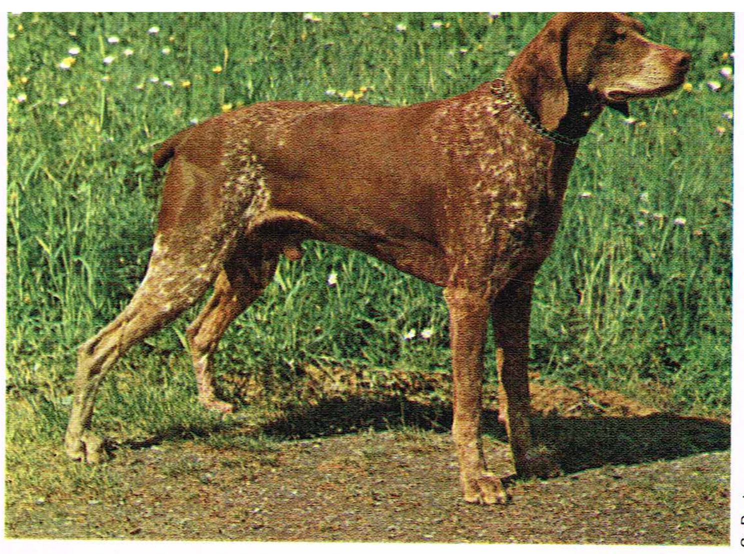
Ci-dessus, un groupe de cockers ; il existe une grande variété dans la couleur de leur robe. Ci-dessous, le boxer fauve, excellent chien de défense.

S. Prato




S. Prato

Chien de chasse à poil ras et oreilles pendantes, le braque allemand est un excellent chien d'arrêt.


S. Prato

Parmi les chiens d'arrêt, on trouve aussi le braque français de type léger.

n'aboie jamais. Très populaire aujourd'hui, le teckel s'apparente aux terriers.

Les chiens courants poursuivent le gibier à la course. Le chien de saint Hubert a de longues oreilles tombantes. Le grand bleu de Gascogne, le « chien français » (souvent tricolore), l'épagneul allemand, le spitz ou loulou finlandais, l'amusant basset artésien normand, aux pattes torses, le beagle entrent dans cette catégorie.

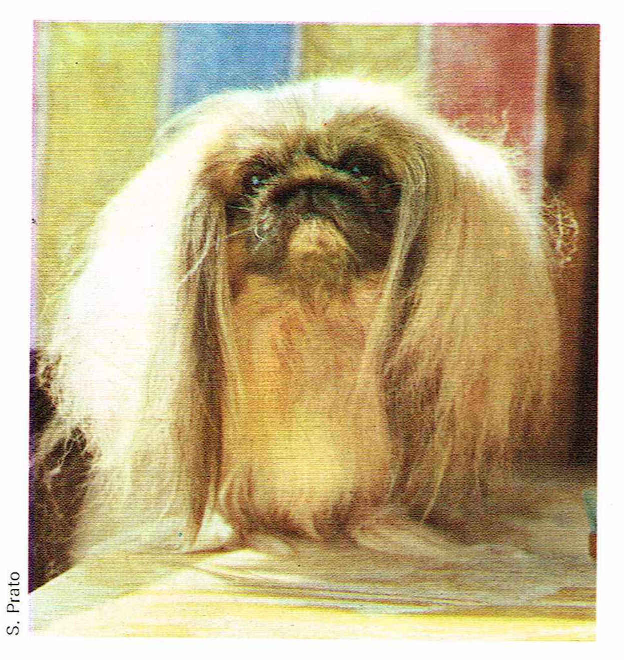
Au contraire, les chiens d'arrêt marquent le pas devant le gibier. Ce sont les différents braques (dont le beau braque de Weimar, à livrée gris argent), le podenco d'Ibiza, originaire des Baléares, les épagneuls breton, français et picard, le griffon français, le pointer au poil ras et lustré et les divers setters. D'autres chiens de chasse rapportent le gibier : ce sont les retrievers, dont le plus connu est le labrador.

Un petit groupe voisin comprend le populaire cocker anglais et le curieux cocker américain, à l'abondant pelage soyeux, et divers épagneuls d'Outre-Manche, dont l'épagneul d'eau irlandais, à la fausse allure de caniche.

CHIENS DE COMPAGNIE

Celui-ci prend place dans la catégorie des chiens de compagnie. Il présente trois variétés : le nain, le moyen et le géant. Le loulou de Poméranie doit à son pelage touffu son allure sympathique. Le dalmatien, à livrée pointillée de noir, a connu une grande vogue voici quelques années : il a malheureusement tendance à être un peu « caractériel ».

Le pékinois au museau épaté est un des plus amusants chiens de compagnie.


S. Prato

Les pinschers, le schnauzer nain, le schipperke sont moins fréquents. Le bouledogue, à la face écrasée, doit son existence à une mutation particulière.

Les bichons sont d'adorables créatures, véritables boules de poils blancs. Le chihuahua, qui paraît originaire du Mexique, est le plus petit de tous les chiens : il connaît actuellement une certaine faveur. Le chow-chow a fière allure avec sa toison épaisse : croisé avec le wolf-spitz, il a donné la dernière race canine reconnue à ce jour, l'eurasier, aux remarquables qualités psychologiques ; le pékinois au museau épaté est toujours en vogue, alors que le carlin a connu son heure de gloire au siècle dernier. Lhassa apso, épagneul japonais, et yorkshire terminent la série des chiens de compagnie.

Les lévriers sont des chiens splendides, juchés sur de hautes pattes. Le lévrier anglais peut montrer sa vélocité dans les cynodromes. Lévrier afghan, à l'abondant pelage blond, sloughi du Sahara, malheureusement menacé de disparition, saluki du Proche-Orient, lévrier russe ou barzoï sont des races magnifiques. Et il y a aussi la levrette, ou petit lévrier italien, et les lévriers écossais, irlandais, espagnol...

LES CHIENS SAUVAGES

Il existe également, à travers le monde, de nombreux types de chiens sauvages. En Asie, des chiens dits parias rôdent aux abords des villes, mais ils ne sont qu'à demi sauvages. L'Australie est le domaine du dingo, un Canidé à pelage jaunâtre. Les dholes de l'Asie méridionale et les lycaons ou cynhyènes africains sont de redoutables chasseurs. Le chien viverrin de l'Asie orientale a une curieuse allure de raton laveur. Originaire de Chine et de Sibérie orientale, il a été introduit en Russie d'Europe, d'où il a envahi la Scandinavie, l'Allemagne, les Pays-Bas, etc. Selon certaines informations, il aurait pénétré dans l'est de la France.

LE CHENIL INFERNAL

Les chiens, on s'en doute, interviennent dans d'innombrables mythes, légendes et traditions. Ainsi, le thème du chien gardien des Enfers se retrouve dans de nombreuses civilisations. Chez les Grecs et les Romains, c'était bien sûr Cerbère, le molosse à trois têtes qui ne laissait passer que les morts : Hercule parvint à le capturer vivant.

Chez les Égyptiens, le dieu Anubis conduisait les âmes des morts vers leur domaine : il avait une tête de chien ou de chacal. En Inde, les terribles Sârameyâu, à la peau mouchetée et aux dents rougeâtres, avaient la même mission.

L'Europe germanique a aussi son chien infernal : Garm, animal monstrueux, au poitrail maculé de sang. Il est intraitable envers les morts, sauf ceux qui se sont montrés très charitables de leur vivant : leurs offrandes se retrouvent alors dans leurs mains. Apaisé par ce pourboire, Garm les laisse passer. Ce molosse périra lors du fameux crépuscule des dieux.

Ce sont des légendes de ce genre qui ont inspiré à Conan Doyle le fameux Chien de Baskerville, *chef-d'œuvre du roman policier.*

LES SINGES

Le monde des singes est d'une très grande variété. Un premier groupe, particulièrement remarquable par la diversité des formes et des couleurs, habite l'Amérique tropicale. Ce sont les platyrhiniens, c'est-à-dire les singes à nez aplati et à narines écartées.

Les plus petits sont les ouistitis, dont l'espèce la plus connue porte des « pinceaux » de poils blancs de chaque côté de la tête. A leur voisinage se classe le singe-lion, ainsi nommé parce qu'il a une belle crinière dorée. Les tamarins sont pourvus de moustaches ou d'un toupet blanc; dans ce dernier cas, on les nomme les pinchés.

Le douroucouli ou nyctipithèque est de mœurs crépusculaires; les callicèbes ou titis lui ressemblent. Les ouakaris ont une allure unique avec leur face rouge vif et leur pelage roux. Avec leur chevelure hirsute, les sakis ont un aspect également étrange.

Encore appelé singe-écureuil, le saïmiri a une face blanche avec le museau noir; ses pattes sont rousses. Les sajous ou capucins sont reconnaissables au toupet de poils qu'ils portent sur la tête.

HURLEURS ET ATÈLES

La queue de ces singes est plus ou moins préhensile. Elle l'est encore plus chez les suivants, pour lesquels elle fait fonction de cinquième main : les hurleurs, au pelage roux ou noir, doivent leur nom aux hurlements qu'ils poussent, grâce à la caisse de résonance qu'ils possèdent dans la gorge; on les nomme encore alouates.

L'appellation de singes-araignées que l'on donne aux atèles est significative : ce sont de grands singes dégingandés, très agiles dans les arbres, et qui n'ont pas de pouce. Le lagotriche est assez semblable, mais est doté d'un beau pelage laineux. C'est en Amazonie que ces divers singes demeurent le plus abondants.

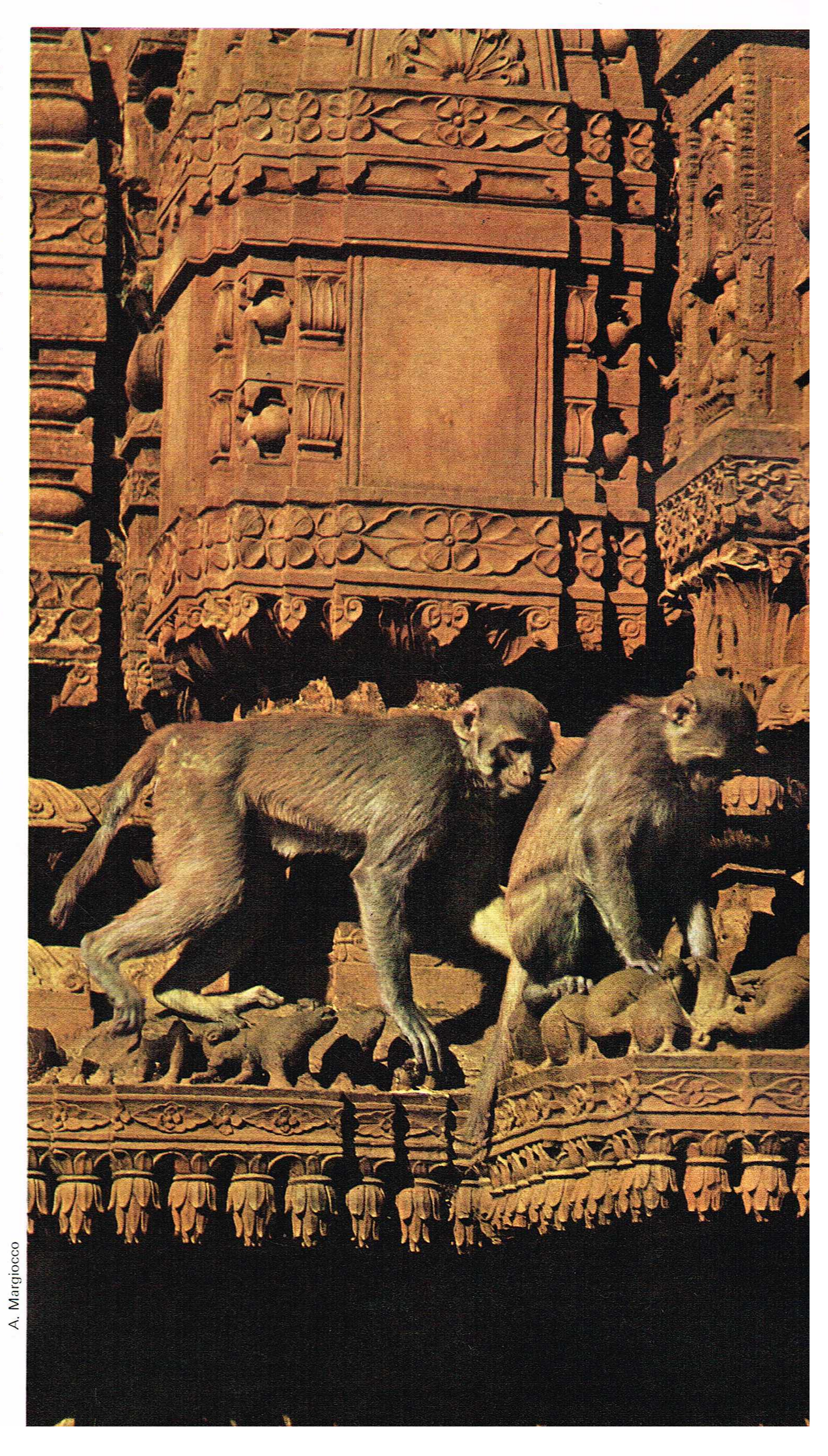
L'Ancien Monde est au contraire le domaine des catarhiniens, c'est-à-dire des singes à narines rapprochées, séparées par une mince cloison cartilagineuse. Leur queue n'est jamais prenante. On les divise en « inférieurs » et « supérieurs », ou anthropomorphes.

Parmi les premiers, voici d'abord les nombreux semnopithèques d'Asie. Le plus connu est le langur ou entelle, singe sacré de l'Inde, à la face noire et à pelage clair. Sur les hauts plateaux chinois, vit le splendide rhinopithèque de Roxellane, au nez retroussé et à l'épaisse toison dorée. Bornéo est le domaine du singulier nasique, au nez étrangement développé, et qui nage parfois jusqu'en pleine mer. Quant au douc du Vietnam, on ne sait trop s'il a survécu à la guerre.

Les colobes africains sont de proches parents des semnopithèques. Le plus beau est le guéréza à pelage panaché noir et blanc, hélas recherché par les fourreurs; il plane littéralement d'arbre en arbre. Le colobe bai a un faciès extraordinaire et une livrée jaune ou rousse.

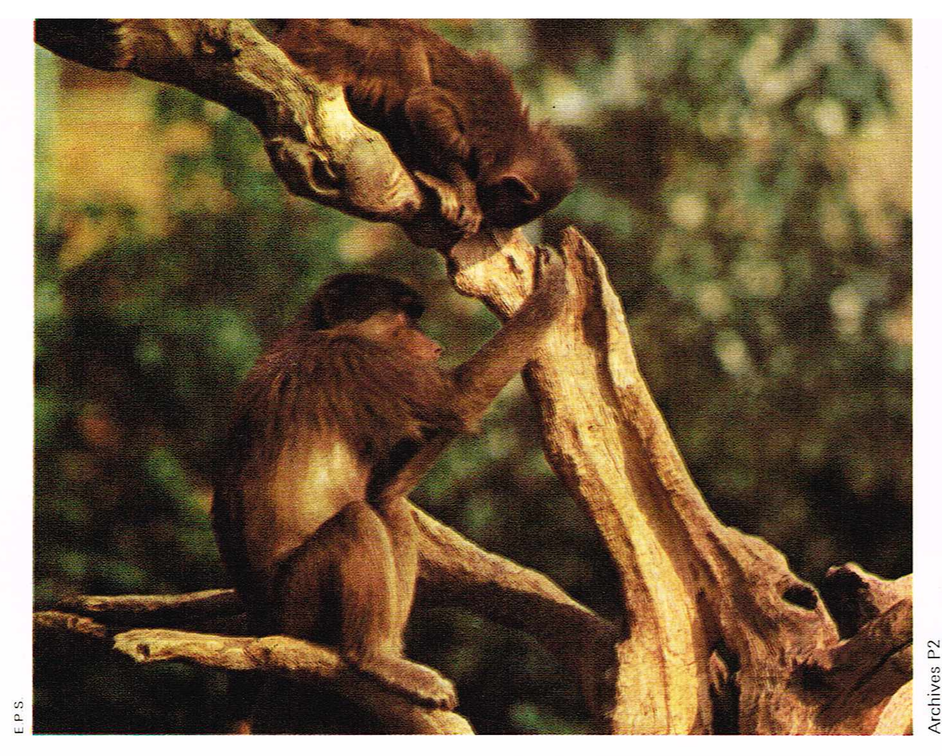
DES CERCOPITHÈQUES AUX BABOUINS

Les nombreuses espèces de cercopithèques sont parfois groupées sous la dénomination de singes verts, en raison de la teinte olivâtre de certains d'entre eux; ce sont des singes africains, plutôt petits, à longue queue. Le cercopithèque de Brazza a une allure vénérable avec sa grande barbe blanche; le moustac a la face bleutée, le cercopithèque à tête de hibou a la sienne barrée d'une ligne verticale blanche; le talapoin, très petit, habite les



A. Margiocco

***Macaca mulatta*, plus connu sous le nom de singe rhésus, qui servit en laboratoire à déterminer notamment les facteurs Rhésus de l'homme.**



E P S.

Le babouin *(Papio papio)* est l'une des espèces les plus communément élevées en captivité.

Archives P2

Le cercopithèque diane *(Cercopithecus diana)* s'adapte facilement aux habitudes de l'homme.

mangroves littorales. Et il y a encore le hocheur, le mone, le tantale, etc.

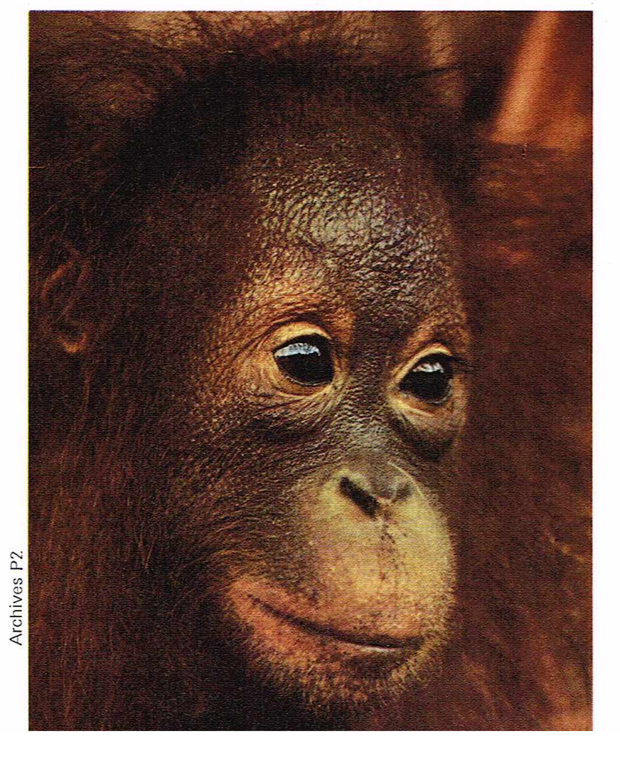
En marge des cercopithèques se rangent le patas ou singe rouge ainsi que les cercocèbes ou mangabeys, à pelage terne et silhouette svelte. Ces singes sont également africains.

Les macaques sont les plus trapus, avec la queue courte. Leur pelage est généralement brunâtre. Tous sont asiatiques, sauf le magot, localisé au Maroc, en Algérie et sur le rocher de Gibraltar, où il a été réintroduit. Le célèbre macaque rhésus vit dans les villages de l'Inde. L'espèce japonaise a une vie sociale développée. Le macaque ouanderou de Ceylan porte une imposante crinière. Des macaques montent à de hautes altitudes dans l'Himalaya. Le cynopithèque est une sorte de macaque au pelage noir, propre aux Célèbes.

Hardis, effrontés, querelleurs, les cynocéphales ou babouins, singes à museau de chien, font partie du paysage africain.

L'hamadryas est pourvu d'une belle crinière : il habite l'Éthiopie et l'Arabie ; c'était le singe sacré des Égyptiens. Le mandrill des forêts ouest-africaines est l'un des singes les plus extraordinaires avec son nez rouge et ses joues bleues. Le drill des mêmes régions a une énorme tête avec un museau noir ; le plus grand des cynocéphales est le gélada d'Éthiopie ; son mode de vie paraît se rapprocher de celui des premiers hommes. Les babouins vivent selon une stricte hiérarchie : leurs callosités fessières jouent un grand rôle dans leur vie sociale.

Pongo pygmaeus, l'orang-outan, dont le nom malais signifie « homme de la forêt ».



Archives P2

PARENTS DE L'HOMME

Avec les anthropomorphes (on disait autrefois anthropoïdes), nous franchissons un nouveau degré de l'évolution ; cette fois, nous atteignons les parents les plus proches de l'homme dans la nature actuelle.

Leurs bras démesurés donnent aux gibbons de l'Asie du Sud-Est une agilité déconcertante dans les arbres ; sur terre, ils arrivent à faire quelques pas en situation bipède, en utilisant leurs bras comme balanciers. Le plus grand est le siamang de Sumatra, dont les cris portent à plusieurs kilomètres.

C'est également à Sumatra, et aussi à Bornéo, que vit l'orang-outan. On tente aujourd'hui de sauver de la disparition ce grand singe roux, dont la face se garnit, avec l'âge, de bourrelets graisseux ; il a beaucoup souffert des trafics pour les zoos et les laboratoires.

Le gorille, le plus imposant des singes, a beau avoir un aspect effrayant, il est en réalité timide et craintif. Son pelage est noir. Il en existe deux races, le gorille de côte, localisé au Gabon et au Cameroun, et le gorille de montagne, qui vit sur la bordure orientale de la cuvette congolaise. Ce dernier est le plus grand et le plus menacé.

Alors que les anthropomorphes précédents sont exclusivement forestiers, le chimpanzé habite également la savane. Il est répandu dans toute l'Afrique tropicale ; un type très particulier, et de petite taille, le chimpanzé nain, vit dans les forêts au sud du Congo.

De tous les animaux, le chimpanzé est certainement le plus intelligent. Dans certaines régions, il « pêche » les termites en enfonçant des brindilles dans les termitières. Des spécialistes de psychologie animale ont réussi à engager un véritable dialogue avec le chimpanzé, grâce à diverses méthodes : langage des sourds-muets, clavier relié à un petit ordinateur, jetons de couleur, etc. Des chimpanzés sont parvenus à composer de petites phrases.

Peut-on encore découvrir des singes inconnus à notre époque ? Ce n'est pas impossible. Le semnopithèque doré de l'Inde n'a été connu qu'en 1955. Des espèces ignorées se cachent peut-être encore au fin fond de l'Amazonie.

Un dernier point : n'ayez pas de singe chez vous. Il ne vous vaudrait que des désagréments : morsures, saletés, maladies... Les singes sont faits pour vivre dans la nature, pas en appartement.

LA BIOLOGIE

Bien que la notion de vie soit familière et semble aisément perceptible à la plupart d'entre nous, les phénomènes vitaux, quant à eux, apparaissent comme extrêmement complexes. Nous nous proposons donc d'effectuer de façon simple une approche des « choses de la vie ». Nous nous attacherons à vous familiariser avec les mécanismes de la croissance, de la reproduction des êtres vivants et de leurs rapports avec l'environnement.
Nous nous préoccuperons notamment de l'homme : de ses origines, de sa physiologie, des diverses races qui peuplent la Terre, et de l'énorme impact humain sur le milieu, si important que les problèmes de défense de l'environnement sont un souci pour chacun d'entre nous.

LA VIE

Il est sans doute facile pour chacun de nous, dans le cadre de la vie de tous les jours, d'opérer une distinction entre êtres vivants et êtres inanimés, car celle-ci est fondée sur des critères de perception immédiate. Les considérations concrètes qui nous permettent de reconnaître dans la nature qui nous environne ce que l'on pourrait appeler les « propriétés vitales » s'imposent avec évidence lorsqu'on envisage un animal qui se meut, se nourrit et, d'une manière générale, possède une activité semblable à celle de l'homme.

Il n'est pas très difficile non plus de reconnaître une vie moins semblable à la nôtre, comme dans le cas d'un végétal qui forme des fleurs et des fruits, ou même de certains coquillages très durs, immobiles, accrochés à la roche au point de se confondre apparemment avec elle; il est évident que, dans ce dernier cas, la notion de vie découlera d'une observation plus approfondie, car elle n'est pas aussi évidente et immédiatement compréhensible que pour les végétaux ou les animaux plus évolués. Ce qui est important à souligner est que la notion de vie nous est tellement familière qu'elle nous paraît élémentaire, générale, immédiatement perceptible.

Et pourtant le mécanisme de la vie est beaucoup plus complexe qu'on ne pourrait le penser à première vue : définir un être vivant comme un être qui naît d'un autre semblable à lui-même, grandit, se nourrit et « métabolise » les aliments pour en tirer l'énergie nécessaire, se reproduit, vieillit et meurt, n'est certes pas erroné, mais cette définition ne fournit pas l'explication des mécanismes intimes qui font qu'un ensemble moléculaire (à quoi, au fond, se ramène l'homme) manifeste une activité vitale.

AUX FRONTIÈRES DE LA VIE

Après la découverte des virus, le problème de la distinction entre êtres vivants et non vivants est devenu encore plus complexe.

Le virus, extrait des cellules du corps de son hôte, se présente essentiellement comme quelque chose d'inanimé, dépourvu des propriétés de s'accroître, de se reproduire, de respirer, de se nourrir; dans certaines conditions, il cristallise une sorte de substance chimique certainement non vivante. Mais la structure d'un virus comprend une molécule d'acide nucléique, autour de laquelle est enroulée en spirale une protéine : c'est la présence de cette molécule d'acide nucléique qui conduit à attribuer au virus une sorte de vie.

Effectivement, si le virus cristallisé est placé dans l'eau, il reconquiert rapidement sa forme virulente, et, réintroduit dans l'hôte, il pénètre dans les cellules de ce dernier; ici l'acide nucléique entreprend un processus de duplication tout à fait semblable à celui des cellules vivantes, processus qui s'opère naturellement aux dépens de la cellule hôte, tandis qu'en même temps se forme une quantité de protéines virales suffisante pour entourer toutes les molécules d'acide nucléique issues de la duplication des virus qui ont pénétré dans la cellule. Les virus nés de ce processus sortent de la cellule hôte et se dirigent de différentes manières vers une autre cellule, où ils donnent naissance à un nouveau processus de duplication.

Ces différents phénomènes permettent de considérer le virus comme un être vivant. Certes, sa reproduction se fait aux dépens d'un hôte, auquel il emprunte les substances chimiques qu'il ne possède pas lui-même,



Bavestrelli - Bevilacqua - Prato

Ce foisonnement de fleurs et de verdure symbolise la vie, une vie silencieuse et immobile, mais abritant néanmoins des phénomènes merveilleux.


D. Faulkner

Ces Poissons qui nagent témoignent sans aucun doute de la complexité des phénomènes physiques, chimiques, dynamiques, écologiques et physiologiques qui caractérisent le monde animal.

à cause de son extrême simplicité, et dont il est obligé d'exploiter le milieu cellulaire pour rendre possible la replication de l'acide nucléique ; ce fait doit être attribué essentiellement à sa structure particulièrement simple, qui lui interdit de posséder un grand nombre des activités typiques d'une véritable cellule.

Ces observations démontrent à l'évidence que le principe vital réside dans l'acide nucléique, sans lequel aucune forme de vie, même très rudimentaire, ne peut exister.

Le passage du « non-vivant » (par exemple un cristal de sucre) au « vivant » (par exemple une Bactérie) se produit à travers des formes intermédiaires tellement semblables les unes aux autres qu'il nous est presque impossible d'établir une frontière nette entre le monde animé et le monde inanimé.

LES ORIGINES DE LA VIE

C'est là l'un des plus grands problèmes de la biologie, en raison de ses implications philosophiques et religieuses. Pour se faire une idée, approximative, certes, mais cohérente et acceptable, de la manière dont la vie prit naissance, il faut remonter très loin dans le temps, au moment où notre planète n'était qu'un amas de matériaux inorganiques aux formes diverses et où la matière organique, premier pas vers la formation d'un être vivant, n'existait pas encore.

L'oxygène, principal composant de l'atmosphère terrestre telle que nous la connaissons aujourd'hui, est, nous le savons, produit surtout par la respiration des végétaux autotrophes ; donc, à l'origine, du fait de l'absence de toute forme de vie végétale, il n'était pas présent dans l'atmosphère. Par conséquent, en raison de l'absence de cette atmosphère, qui joue actuellement un rôle de filtre à l'égard du rayonnement ultraviolet, ce dernier pouvait atteindre la surface de la terre et fournir de l'énergie aux différents éléments.

Cette énergie leur permit de se combiner entre eux de manière à produire une molécule organique simple, susceptible à son tour, toujours grâce à l'énergie du rayonnement ultraviolet, de se combiner avec d'autres éléments, ou d'autres molécules identiques, pour former des complexes organiques plus perfectionnés.

Étant donné que toutes les molécules de substances organiques utiles ou même indispensables à la vie présentent une asymétrie caractéristique, il a fallu élaborer une hypothèse acceptable sur les conditions de milieu dans lesquelles a dû se former la première molécule asymétrique, point de départ de toutes les autres molécules de plus en plus complexes : on admet que la formation de cette première molécule est due à une réaction survenue dans des zones saumâtres riches en carbonates.

Ainsi se seraient formées, il y a environ 4 milliards d'années, dans les mers d'alors, froides et saumâtres, exposées au rayonnement ultraviolet, donc dans un milieu plus favorable que tout autre aux synthèses chimiques, d'énormes quantités de matières organiques, dont l'organisation de plus en plus complexe et perfectionnée se rapprochait progressivement d'une structure vivante ; c'est de cette manière que se formèrent les enzymes, responsables des premiers processus de fermentation en l'absence d'air, et l'acide adénosine-triphosphorique, indispensable pour la synthèse des acides nucléiques.

Avec l'apparition de l'acide adénosine-triphosphorique, le milieu devint favorable à la vie, mais il ne contenait pas encore de matière vivante : grâce à un tel milieu, la première molécule d'acide nucléique qui se forma put opérer facilement sa duplication.

La première duplication de l'acide nucléique marque l'apparition de la vie sur notre planète, mais l'être vivant n'est pas encore formé.

Très vraisemblablement, le premier être vivant apparu sur la Terre devait avoir une structure semblable à celle d'un virus, mais, au lieu de se reproduire, comme celui-ci, à l'intérieur d'une cellule, il se reproduisit dans un milieu environnant organique ; ce dernier finit peut-être par former un tout avec le virus, se liant intimement à celui-ci pour constituer une cellule primordiale, dans laquelle l'acide nucléique du virus forma le noyau. A partir de ce moment, les êtres vivants connurent une évolution aux mécanismes de plus en plus complexes, jusqu'à assumer les formes de vie que nous observons aujourd'hui.

LES SYNTHÈSES EN LABORATOIRE

L'explication du mécanisme de la vie que nous venons de décrire était à peine élaborée que les savants s'appliquèrent à synthétiser en laboratoire un acide nucléique capable de replication et susceptible de fournir, placé dans un milieu adapté, un virus synthétique.

A ce jour, on a assisté, en effet, à la synthèse partielle d'un virus en laboratoire, mais ce résultat a été obtenu en mélangeant une fraction protéique et une fraction d'acide nucléique extraite d'autres virus ; on est donc parti de substances tirées d'un être vivant et non produites artificiellement en laboratoire.

Bien que d'un très grand intérêt scientifique, ces expériences n'ont pas atteint le but qu'elles se proposaient et qui consistait, entièrement en laboratoire, à essayer de produire un être vivant, même très simple, en partant de substances indiscutablement non vivantes.

Les tentatives faites pour la réalisation synthétique d'une molécule d'acide nucléique n'ont jamais abouti. On n'a pas davantage réussi à synthétiser ce qu'on peut considérer comme le précurseur des acides nucléiques, l'acide adénosine-triphosphorique ; cela s'applique aussi aux enzymes, indispensables aux processus vitaux.

Lorsque l'homme réussira à synthétiser en laboratoire une molécule d'acide nucléique capable de duplication, il aura alors créé réellement quelque chose de vivant à partir de la matière inanimée, mais il sera encore loin de pouvoir réaliser dans une éprouvette une véritable cellule ou, encore moins, un être vivant, fût-il doué d'une structure extrêmement simple, comme une Algue ou un animal d'une simplicité comparable. Il en sera au moins aussi éloigné qu'il l'est actuellement de la synthèse des acides nucléiques capables d'« autoreproduction ».

LA CELLULE

Jusqu'à la seconde moitié du XVII[e] siècle, les savants pensèrent que la composition intime de tout être vivant, animal ou végétal, résultait d'un ensemble compact de différentes substances; ils étaient loin de penser qu'il pût exister une unité fonctionnelle de base commune à tout être vivant, depuis la plus petite Bactérie jusqu'aux végétaux les plus évolués et jusqu'à l'homme.

Ce fut le botaniste anglais Hooke qui, le premier, en 1665, alors qu'il observait des coupes de liège au microscope, découvrit et examina la structure de cette unité fonctionnelle, connue aujourd'hui sous le nom de cellule. Cependant Hooke, interprétant sa découverte de manière erronée, attribuait aux éléments cellulosiques, qui ne sont en réalité qu'une structure de soutien des cellules, des propriétés fonctionnelles, et appelait « alvéoles » les zones apparemment vides délimitées par les parois. C'est grâce à des études plus poussées et à des appareils plus perfectionnés que l'on devait constater plus tard que ces « alvéoles » étaient véritablement l'unité vivante.

LA STRUCTURE CELLULAIRE

La structure de la cellule est commune à tout être vivant, végétal ou animal; il existe cependant de profondes différences, tant en ce qui concerne la taille que la composition, entre les cellules végétales et les cellules animales, ainsi qu'entre les cellules les plus simples et les plus complexes.

Pour étudier la composition de cette unité fonctionnelle, nous imaginerons une cellule type, n'existant pas dans la nature : elle est formée par un amas de protoplasme délimité à l'extérieur par une membrane et contenant des éléments non vivants, comme le paraplasme, et des appareils vivants, comme le chondriome, l'appareil de Golgi, les vacuoles, les plastes (ceux-ci ne sont présents que dans les cellules végétales), l'ergastoplasme, et enfin le noyau, structure très complexe qui revêt une énorme importance pour toutes les activités cellulaires, notamment pour la reproduction.

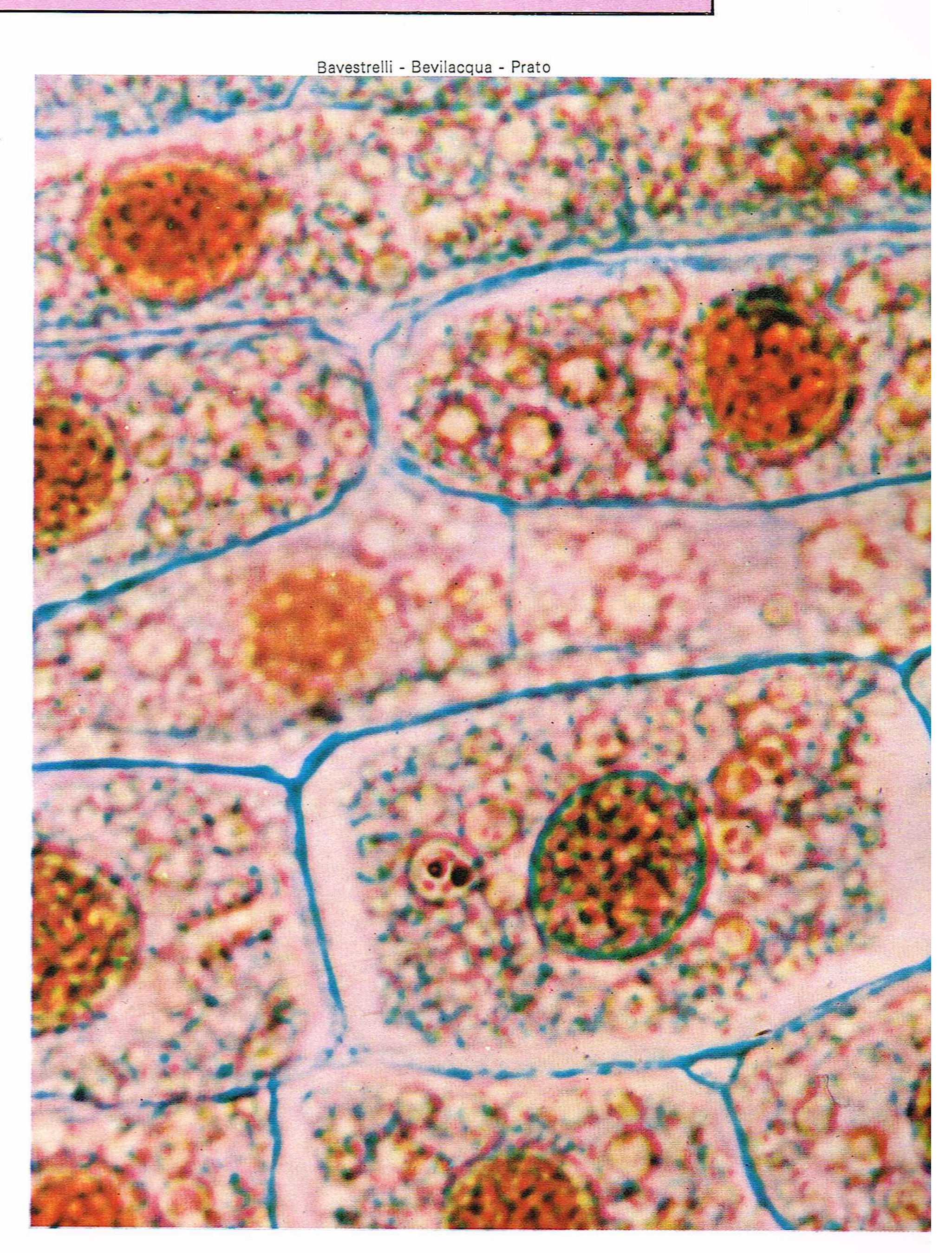
Les êtres les plus simples ne sont composés que d'une seule cellule : ce sont les Protozoaires (amibe, paramécie, etc.), les Bactéries, certains types de Champignons et d'Algues. Mais, chez la plupart des êtres vivants, les cellules sont assemblées pour former les tissus des organes. Dans ce cas, la structure de chaque cellule qui participe à la formation de ce tissu pluricellulaire est spécialement adaptée à l'accomplissement d'une fonction particulière. Par exemple, une cellule glandulaire de n'importe quelle glande humaine produit une sécrétion spécifique, véhiculée par le sang, toujours chimiquement conforme aux besoins de l'organisme.

La composition chimique de la cellule varie naturellement du règne animal au règne végétal et d'un type cellulaire à l'autre. Schématiquement, la composition chimique typique d'une cellule animale est la suivante : eau, 80 %; protéines, 10 %; lipides, 2 %; sels organiques, 1,5 %; substances organiques diverses, 1,5 %.

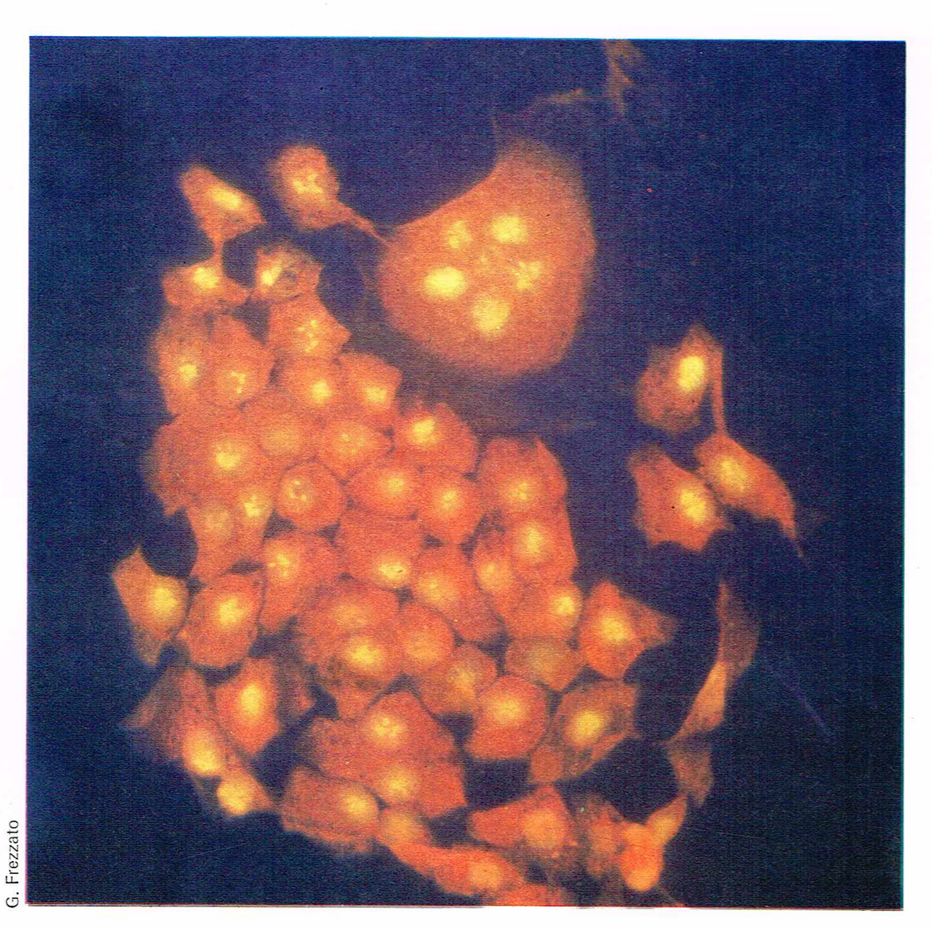
Mais voyons plus en détail la structure d'une cellule : la membrane qui entoure le protoplasme (cytoplasme + noyau) est constituée, d'après des observations faites au microscope électronique par Robertson, par une double couche de substances protéiques que sépare une couche intermédiaire de lipides. Cette paroi est continue et présente une perméabilité sélective, c'est-à-dire permettant le passage des substances utiles à la cellule en fonction de ses besoins vitaux et la sortie des substances de rejet.

A l'intérieur de l'enveloppe constituée par la membrane, nous trouvons le protoplasme, composé, comme nous l'avons dit, du cytoplasme et du noyau. Le cytoplasme est formé d'une substance fondamentale, le hyaloplasme, qui paraît vide, et par des inclusions. A sa partie centrale, mais parfois aussi au contact de la paroi plasmatique, le cytoplasme est traversé par un ensemble de membranes formant des vésicules et des tubules aux formes sinueuses, ensemble qui prend le nom de réticulum endoplasmique. Ce réticulum peut être « lisse » ou présenter de minuscules formations granulaires (150 Å de diamètre;

Bavestrelli - Bevilacqua - Prato



Ces cellules peuvent être comparées aux éléments d'une mosaïque ou aux briques d'un mur; en effet, elles forment, de la même manière, les tissus animaux et végétaux. Sur la photo : un exemple de méristème (× 250 × 3,5).


G. Frezzato

Cellules épithéliales humaines, cultivées *in vitro;* la préparation a été colorée à l'orange d'acridine. La microphotographie a été exécutée sous excitation en lumière ultraviolette, qui a provoqué une fluorescence rouge pour l'ARN et jaune pour l'ADN.

1 angström = 1 dix-millième de millimètre), les ribosomes ou grains de Palade, contenant de l'acide ribonucléique; le réticulum endoplasmique et les ribosomes jouent donc un rôle important dans la synthèse des protéines.

L'observation au microscope électronique montre habituellement près du noyau un système d'écailles superposées; cet ensemble est appelé « appareil de Golgi », du nom du savant qui le découvrit. Sa fonction est encore discutée aujourd'hui, mais on admet que les vésicules de l'appareil de Golgi peuvent entrer en communication avec le réticulum endoplasmique.

Un rôle très important pour l'activité métabolique de la cellule est dévolu aux mitochondries, centres de la respiration cellulaire, dont le nombre et la répartition sont variables et la structure assez complexe. On peut présenter schématiquement la mitochondrie comme un bâtonnet plus ou moins trapu ou arqué, comportant une double paroi qui délimite une chambre externe (comprise entre les deux parois) et une chambre interne. La paroi interne présente des digitations qui cloisonnent la chambre interne. Les phénomènes chimiques qui se déroulent au niveau de la mitochondrie sont des phénomènes d'oxydation de l'adénosine-diphosphate en adénosine-triphosphate, avec accumulation d'énergie, susceptible d'être restituée lors du passage inverse de l'adénosine-triphosphate en adénosine-diphosphate. On donne le nom de chondriocontes aux mitochondries filamenteuses.

LE NOYAU

Le noyau est sans conteste la structure la plus importante de la cellule. Observé pour la première fois par Félix Fontana en 1780, il a fait par la suite l'objet d'études très minutieuses; aujourd'hui, on peut affirmer qu'il s'agit d'une structure constante de la cellule, bien qu'elle soit absente chez les virus comme chez les globules rouges des Mammifères et des Oiseaux. Chaque cellule comprend généralement un seul noyau, quoique certaines soient pourvues de plusieurs noyaux; les dimensions du noyau sont telles que le rapport entre la masse de la cellule et la masse du noyau est constant.

Le noyau est délimité par une membrane; celle-ci est interrompue par des pores de grandeur comprise entre 400 et 700 Å, dont le nombre varie selon le type de cellule. La membrane nucléaire, qui fait défaut chez les Bactéries et les Algues, est sous la dépendance du réticulum endoplasmique, auquel elle s'unit au moment de la reproduction cellulaire. Cette description de la structure du noyau s'applique au noyau au repos; à la phase de division cellulaire, ou mitose, l'aspect du noyau change totalement, puisque la membrane disparaît et que les chromosomes s'individualisent.

Le noyau est constitué par un suc nucléaire qui renferme les chromosomes. Ceux-ci feront l'objet de notre prochain article. Disons tout de suite que leur importance est considérable, car l'hérédité repose sur eux.

Les chromosomes se présentent sous forme de bâtonnets. Ils ont d'habitude un aspect coudé, dû à leur division en deux bras se réunissant au niveau d'un centromère. Chaque chromosome est fait d'un chromonéma, finement enroulé en hélice, et d'une matrice, qui l'enveloppe. Le chromosome est constitué de molécules d'acide désoxyribonucléique (ADN), qui ont la forme, désormais célèbre, d'une double hélice.

Enfin, le noyau renferme des nucléoles, petites masses spongieuses, sans membrane.

Poursuivons notre description d'une cellule animale typique. Dans de très nombreuses cellules, on note, près du noyau, une structure qui revêt une grande importance au moment de la division cellulaire, tandis qu'elle reste au repos dans la cellule interphasique : cette structure est le centrosome. C'est une masse de cytoplasme qui contient un petit cylindre appelé centriole.

Citons les vacuoles, qui sont des cavités du cytoplasme, présentant souvent, chez de nombreux Protozoaires, une communication avec l'extérieur par l'intermédiaire d'un cytostome, la « bouche » de la cellule. Les vacuoles jouent un rôle dans l'alimentation cellulaire; elles sont parfois isolées et contiennent des substances de réserve (lipides) ou de rejet. Chez les organismes monocellulaires, des vacuoles pulsatiles peuvent jouer un rôle aussi dans la motilité. Les substances de réserve et de rejet, qu'elles se trouvent réunies à l'intérieur des vacuoles, ou qu'elles restent extérieures, prennent la dénomination générale de paraplasme.

La description de la structure cellulaire que nous venons de faire s'applique, comme nous l'avons dit, à une cellule animale typique. D'ailleurs, les différences entre une cellule animale et une cellule végétale typiques ne sont pas, le plus souvent, très importantes; mentionnons, par exemple, que les cellules végétales sont pourvues d'une membrane de cellulose ou de pectine, située extérieurement à la paroi cellulaire que nous venons de décrire, souvent de dimension importante, et capable de s'épaissir par accumulation de substances diverses (lignine, subérine, etc.), en rapport avec la fonction typique de la cellule.

A l'intérieur de la cellule végétale, on trouve en outre des inclusions cytoplasmiques caractéristiques, les plastes, en plus des inclusions communes aux cellules animales. Les plastes se distinguent en chloroplastes, contenant la chlorophylle, amyloplastes (amidon), chromoplastes (pigments), lipoplastes et protéoplastes (graisses et protéines).

Rappelons qu'il y a encore quelques années, une controverse assez vive s'est développée à propos de l'existence d'une structure nucléaire dans les Bactéries et dans certaines Algues; récemment, on a conclu à l'existence, dans la cellule de la Bactérie, de corps nucléoïdes pourvus de chromosomes, pratiquement analogues à un véritable noyau ne comportant pas de membrane.

En dépit des dimensions microscopiques des cellules, les biologistes parviennent à expérimenter sur elles à l'aide d'instruments miniaturisés : pipettes, aiguilles, scalpels. Ils permettent toutes sortes d'opérations : piqûres, greffes, sections, ponctions, etc.

Grâce à un microcrochet de verre, on peut extraire le noyau d'une amibe maintenue entre les deux branches d'une microfourche de même matière. De la microchirurgie en somme, qui exige un doigté peu commun...

LES CHROMOSOMES

Pendant la division cellulaire, après l'apparition de la membrane nucléaire, des organites particuliers apparaissent à l'intérieur de la cellule ; ce sont des chromosomes, présents dans toutes les cellules vivantes, à l'exclusion des globules rouges ou hématies du sang des Mammifères, qui ne possèdent pas de noyau. pas de noyau.

Ces organites ont grossièrement la forme de bâtonnets plus ou moins allongés, certains étant extrêmement courts ; ils présentent une constriction bien visible, appelée centromère ; c'est justement autour de cette constriction que s'articulent les mouvements du chromosome au moment de la division cellulaire. Un chromosome peut présenter plusieurs constrictions ; dans tous les cas, une seule joue le rôle de centromère, les autres étant des constrictions secondaires.

On peut classer les chromosomes en quatre groupes selon la position du centromère :

a) chromosomes télocentriques, *lorsque le centromère se trouve situé à l'extrémité du chromosome ;*

b) chromosomes acrocentriques, *lorsque le centromère est très proche d'une des extrémités du chromosome, le partageant ainsi en deux bras nettement inégaux, appelés télomères ;*

c) chromosomes sub-métacentriques, *lorsque l'inégalité entre télomères n'est pas très marquée ;*

d) chromosomes métacentriques, *lorsqu'on peut admettre avec une bonne approximation que le centromère se trouve au milieu du chromosome.*

Les constrictions secondaires du chromosome le divisent également en deux parties, l'une contenant le centromère, l'autre non ; ces constrictions sont parfois très importantes, au point d'isoler pratiquement la partie dépourvue de centromère, partie que, dans ce cas, on désigne du terme de satellite.

La présence des satellites ainsi que la position du centromère sont d'une grande utilité pour reconnaître les chromosomes homologues dans les préparations microscopiques d'individus de la même espèce.

LA STRUCTURE DES CHROMOSOMES

Les controverses nombreuses qui se sont développées dans le passé à propos de la structure interne des chromosomes se poursuivent encore aujourd'hui, malgré les importantes découvertes effectuées grâce au microscope électronique.

Il y a encore quelques années, on décrivait les chromosomes comme un ensemble de filaments (le chromonéma) constitués essentiellement d'acide désoxyribonucléique (ADN), plongeant dans une matrice et délimités par une membrane externe.

Pour certains spécialistes, les chromosomes seraient formés de deux filaments principaux, appelés chromatides, constitués à leur tour par des filaments de plus en plus petits jusqu'à la molécule d'ADN.

Les deux chromatides se séparent au moment de la division cellulaire et migrent chacune dans une des cellules filles issues de la cellule mère, pour reconstituer dans chacune d'elles un chromosome entier. Les chromatides sont enroulées en spirale ; il s'agit d'une double spiralisation, l'une au pas très serré, l'autre au pas plus large.

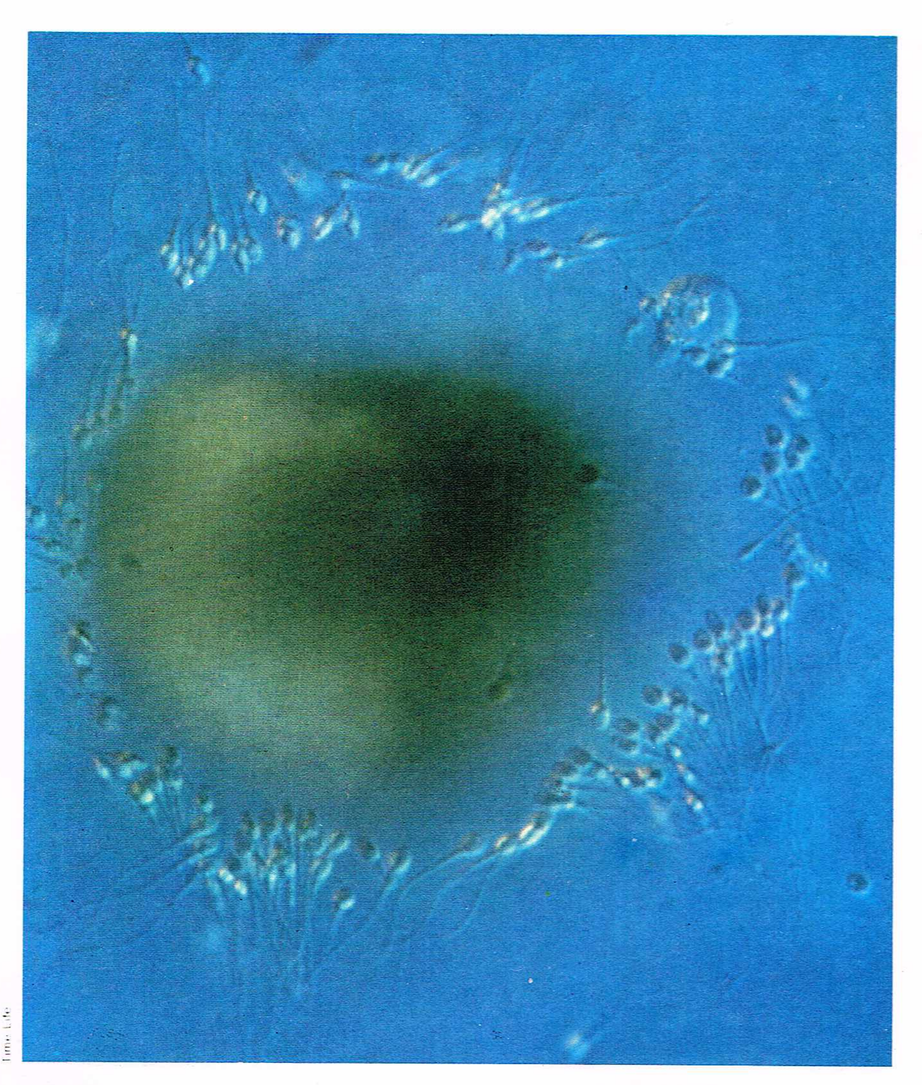
La spiralisation secondaire, c'est-à-dire celle au pas plus serré, n'est pas homogène et présente des parties plus serrées et d'autres plus lâches. A cause d'une telle différence, les parties de filament où la spirale est plus dense, appelées chromomères, apparaîtront plus foncées sur une préparation convenablement colorée, tandis que les autres seront moins colorées.

La molécule d'ADN, qui est à la base de la structure du chromosome, est très complexe ; pour simplifier, on peut

Bavestrelli - Bevilacqua - Prato



Fragment de tissu végétal, dont les cellules se présentent à différents moments de la reproduction ; dans quelques-unes, les chromosomes sont nettement visibles (× 400 × 4 ; coloration de contraste).



Les gamètes sont les cellules qui assurent la conservation de l'espèce. L'illustration montre une cellule œuf de rat entourée de spermatozoïdes.

l'imaginer sous une forme qui rappelle avec une approximation suffisante une échelle de corde enroulée sur elle-même comme une hélice, de manière à former une spirale au pas assez large. C'est pour cela qu'on lui donne classiquement l'appellation de « double hélice ».

Dans cette échelle imaginaire, les montants seraient formés par un sucre particulier, le désoxyribose, associé au phosphore, et les traverses par des bases complexes constituées d'adénine et thymine, guanine et cytosine, reliées par paires à chaque marche.

Dans ces structures extrêmement complexes, il ne faut pas confondre la spirale moléculaire de l'ADN avec les spirales formées par les chromatides, ces dernières apparaissant formées, comme nous l'avons dit, de filaments d'un ordre supérieur à la molécule et composés d'un nombre élevé de molécules.

INDIVIDUALITÉ DES CHROMOSOMES

L'observation des chromosomes en tant qu'organites cellulaires bien apparents n'est possible qu'au moment de la mitose ou division cellulaire ; dans la cellule au repos, les chromosomes ne sont pas observables, car le noyau qui les contient apparaît formé d'une substance filamenteuse enroulée sur elle-même de manière désordonnée et subdivisée en zones plus ou moins facilement colorables par les colorants biologiques.

En réalité, les chromosomes conservent intacte leur individualité, même pendant la période de repos cellulaire, bien que cela n'apparaisse pas facilement à l'observateur. A la fin de la division cellulaire, les chromosomes commencent à se « déspiraliser » et semblent plus allongés et plus minces, superposés les uns aux autres et entrelacés, mais toujours distincts, comme des bouts de fil mélangés entre eux.

Des phénomènes chimiques surviendraient alors pour rendre réfractaires aux colorations les parties du chromosome supposées porteuses des caractères héréditaires de l'espèce ; en revanche, les parties génétiquement inactives ne subissent pas de changements et prennent la coloration, même pendant la phase de repos du noyau. On appelle euchromatine la fraction qui ne se colore pas dans l'interphase (ou phase de repos), et hétérochromatine la portion qui prend la coloration.

LE CARYOTYPE

L'équipement chromosomique présent dans les cellules de tout individu et transmis aux descendants par la reproduction prend le nom de caryotype.

Limitons-nous à l'étude du caryotype de l'homme : il est composé d'un nombre pair de chromosomes (c'est-à-dire d'un nombre diploïde, 2 n), qui sont identiques par paires. Les chromosomes d'une même paire sont dits chromosomes homologues : ils sont parfaitement identiques tant par leur forme (ils sont superposables) que par leur structure interne (disposition des bases dans l'ADN).

Toutes les cellules du corps humain sont diploïdes, à l'exception des cellules reproductrices (ovules et spermatozoïdes), qui sont haploïdes (n), car elles ne contiennent qu'un seul élément de chacune des paires de chromosomes homologues. Ainsi, dans l'œuf ou zygote résultant de l'union de l'ovule et du spermatozoïde, et par conséquent dans toutes les cellules de l'organisme qui en dériveront, se trouvera reconstitué le nombre de 2 n chromosomes, identique à celui du père et de la mère. Si les cellules reproductrices étaient elles aussi diploïdes, on assisterait à un doublement du nombre des chromosomes à chaque génération.

Par exemple, pour l'homme, qui possède 46 chromosomes (23 paternels et 23 maternels) issus des cellules haploïdes reproductrices, ce nombre sera conservé à l'infini pour toutes les générations à venir, car chaque individu, parvenu à la maturité sexuelle, produit à son tour, dans les organes appropriés, ce type de cellules haploïdes, afin d'éviter une augmentation chromosomique vertigineuse.

Ainsi chaque espèce maintient dans le temps les caractéristiques qui lui sont propres et c'est seulement dans des cas exceptionnels que peut se produire une mutation dans l'équipement chromosomique ; elle s'accompagne le plus souvent de manifestations pathologiques. Rappelons à cet égard que le mongolisme est dû justement à la présence d'un chromosome surnuméraire sur la paire 21.

LES CHROMOSOMES SEXUELS

Nous venons de dire que l'équipement chromosomique de chaque individu est formé de paires de chromosomes homologues parfaitement identiques entre eux ; cependant il existe chez tout individu un couple particulier de chromosomes, dits chromosomes sexuels. Dans l'espèce humaine, que nous choisissons comme exemple car elle a fait l'objet des études les plus poussées, à côté des 22 paires de chromosomes homologues on trouve une vingt-troisième paire qui diffère selon les sexes.

En effet, chez la femme, la vingt-troisième paire est formée de deux chromosomes sub-métacentriques assez grands (chromosomes « X ») parfaitement identiques ; chez l'homme, au contraire, la vingt-troisième paire est hétérogène, formée d'un seul chromosome sub-métacentrique de grande taille (« X ») couplé avec un chromosome très petit acrocentrique (chromosome « Y »).

Le sexe des enfants sera déterminé par l'union d'une cellule haploïde « X » de la mère avec une cellule haploïde paternelle qui pourra contenir soit un chromosome « X », soit un chromosome « Y ». La rencontre d'un ovule « X » avec un spermatozoïde « X » donnera naissance à un individu femelle « XX », tandis que la rencontre avec un spermatozoïde « Y » donnera naissance à un individu mâle « XY ». Les deux éventualités possèdent des chances égales de se produire, ce qui assure un parfait équilibre entre les deux sexes et sauvegarde, à terme, les possibilités de reproduction.

LA RESPIRATION CELLULAIRE

On distingue habituellement dans un organisme complexe, comme celui de l'homme ou de tout autre animal doté d'un appareil respiratoire, deux types de respirations : la respiration externe et la respiration interne.

On entend par respiration externe l'ensemble des phénomènes qui se déroulent dans les alvéoles pulmonaires et qui aboutissent à la fixation sur l'hémoglobine du sang de l'oxygène contenu dans l'air inspiré et au rejet dans l'air alvéolaire du gaz carbonique fixé sur l'hémoglobine.

La respiration interne, en revanche, se produit au niveau cellulaire. Elle constitue la véritable respiration, au cours de laquelle s'effectuent les échanges énergétiques de l'organisme : elle existe chez les animaux les plus simples, unicellulaires ou pluricellulaires, tandis que la respiration externe, pulmonaire ou branchiale, n'est qu'un approvisionnement en comburant (oxygène), s'accompagnant de l'expulsion des produits de rejet de l'organisme (gaz ou anhydride carbonique).

Les processus de respiration cellulaire se déroulent dans toutes les cellules de l'organisme et durant toute la vie de l'individu selon des modalités qui varient du règne animal au règne végétal ; il y a lieu de distinguer, en outre, les êtres anaérobies (comme un grand nombre de Bactéries et des parasites internes comme le ténia) et les êtres aérobies, selon qu'ils n'utilisent pas ou qu'ils utilisent l'oxygène pour leur activité métabolique.

La différence essentielle entre végétaux et animaux réside dans le fait que les premiers sont pour la plupart autotrophes, c'est-à-dire capables de puiser dans le milieu extérieur des substances inorganiques et de les transformer, grâce à l'énergie solaire, en substances organiques ; ce sont donc des organismes producteurs, *tandis que les seconds sont des organismes* consommateurs, *car ils utilisent les substances organiques élaborées par les végétaux, dont ils se nourrissent soit directement, soit par l'intermédiaire d'animaux herbivores. Ainsi les végétaux sont assimilés et dégradés au cours du métabolisme animal pour être réduits à nouveau à l'état de substances inorganiques qui seront à nouveau assimilées par les végétaux.*

LA RESPIRATION CHEZ LES VÉGÉTAUX

Dans l'organisme végétal, l'échange énergétique se produit selon deux processus : le premier, la photosynthèse, ou assimilation chlorophyllienne, transforme l'énergie solaire en énergie chimique, mise en réserve dans les molécules d'hydrate de carbone, ou glucide, que le végétal élabore à partir de l'eau et du gaz carbonique ; ce processus exige la présence d'un pigment vert, la chlorophylle. Le second processus, la respiration cellulaire, transforme l'énergie chimique ainsi obtenue en d'autres formes d'énergie, nécessaires à la plante pour croître et se reproduire. Cette transformation s'opère par destruction des molécules de substances organiques élaborées au cours de la photosynthèse.

Dans l'organisme animal, on observe uniquement le second de ces processus, car l'énergie chimique nécessaire à la respiration cellulaire est fournie par les aliments.

La réaction de base de la respiratoin cellulaire d'un organisme aérobie est la dégradation du glucose en gaz carbonique et en eau, selon un processus d'oxydation répondant à la formule suivante :

$$C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 = 6\ CO_2 + 6\ H_2O.$$

Cette réaction libère 690 000 calories. Elle comporte des étapes intermédiaires très importantes : dans un premier temps, la molécule de glucose est scindée en deux molécules d'acide lactique, qui, grâce à la présence d'oxygène (O_2), est oxydé en acide pyruvique ; celui-ci, à son tour, sous l'action d'enzymes particulières, subit de nombreuses transformations intermédiaires qui s'achèvent par la production d'anhydride carbonique (CO_2).

L'ensemble de ces réactions chimiques constitue le cycle de Krebs, ou cycle de l'acide tricarboxylique.

A l'inverse, dans les réactions anaérobies, où l'oxygène fait défaut, l'énergie produite par la dégradation du glucose n'est que de 56 000 calories ; en effet, seule la première partie des réactions décrites a lieu, et le glucose est transformé simplement en acide lactique :

$$C_6H_{12}O_6 = 2\ C_3H_6O_3.$$

Ce dernier ne peut pas être oxydé en acide pyruvique.

C. Bevilacqua



Un bois de jeunes arbres feuillus de la zone tempérée : c'est au niveau des feuilles que s'accomplissent la photosynthèse et la respiration, phénomènes qui sont à la base des échanges énergétiques.



N. Myers

Chez les animaux, l'énergie chimique nécessaire à la respiration provient des aliments ; pour les herbivores, ces derniers sont constitués directement par les végétaux, qui ont édifié leurs substances à partir de l'eau du sol, du gaz carbonique de l'air et de l'énergie solaire.

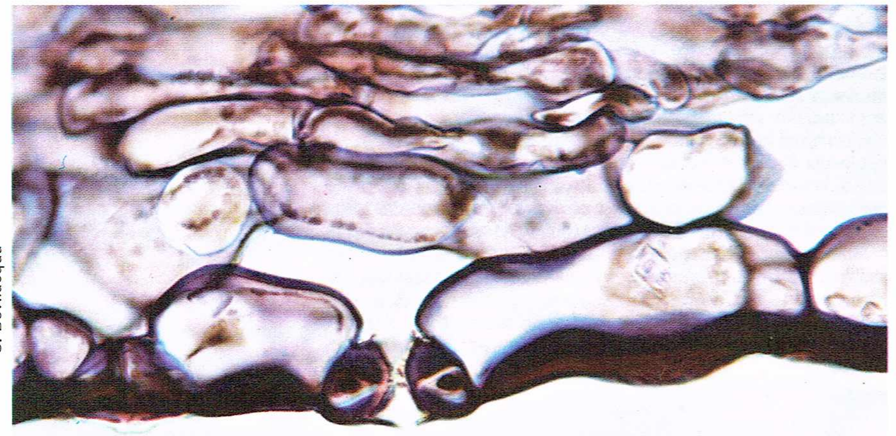
Les organismes qui ont une existence strictement anaérobie ne sont pas nombreux, comme nous l'avons dit. En revanche, on connaît de très nombreux êtres, qui, bien qu'essentiellement aérobies, ont la possibilité de survivre pour un temps limité dans des conditions anaérobies, en produisant de l'acide lactique qu'ils dégraderont massivement en CO_2 *dès qu'ils se trouveront à nouveau en présence d'*O_2.

LA RESPIRATION CHEZ LES DIFFÉRENTS ORGANISMES ANIMAUX

Une respiration cellulaire de ce type s'observe aussi chez les animaux supérieurs et chez l'homme, dans les fibres musculaires. Le muscle peut travailler pendant un certain temps en l'absence d'oxygène, grâce à l'énergie produite par la dégradation du glucose en acide lactique. Lorsque l'acide lactique dépasse une certaine quantité, la fatigue apparaît et le muscle a besoin, pour pouvoir se contracter à nouveau, d'une période de repos, pendant laquelle il paie ce qu'on appelle la « dette d'oxygène » ; il oxyde alors en CO_2 *tout l'acide lactique et se retrouve ainsi prêt à reprendre son travail. La cellule musculaire est débarrassée ensuite de l'anhydride carbonique par le sang, qui le transporte aux poumons, où il le cède à l'air alvéolaire en échange de l'oxygène, nécessaire aux cellules pour poursuivre leur activité métabolique.*

Cependant, l'utilisation directe de l'énergie produite par l'oxydation du glucose ne constituerait pas le mécanisme le mieux adapté au fonctionnement cellulaire : en effet, si les circonstances exigeaient une dépense immédiate de grandes quantités d'énergie, les cellules ne seraient pas en mesure de la fournir si elles devaient oxyder sur-le-champ tout le glucose ; dans d'autres cas, un dosage minutieux de l'énergie peut se révéler opportun, dosage qu'il serait difficile d'obtenir directement à travers les différentes étapes de l'oxydation du glucose.

Section transversale d'une feuille d'hellébore noir au niveau d'un stomate ; celui-ci apparaît comme une petite bouche capable de s'ouvrir et de se fermer et pourvue d'une chambre sous-stomatique (× 300 × 1,5).



C. Bevilacqua

C'est pourquoi chaque cellule possède des réserves d'énergie utilisables, dans la quantité voulue, au moment où le besoin s'en fait sentir. Ces réserves sont constituées par la liaison chimique qui fixe une molécule de phosphate inorganique à la molécule de l'adénosine diphosphate (ADP), qui se transforme ainsi en adénosine triphosphate (ATP).

Le processus de phosphorylation de l'adénosine diphosphate :

$$ADP + P_i + \text{énergie} = ATP,$$

exige approximativement 23 000 calories, qui sont intégralement restituées lors du processus inverse :

$$ATP = \text{énergie} + P_i + ADP.$$

On estime que l'oxydation complète d'une molécule de glucose jusqu'à la transformation en gaz carbonique et eau développe l'énergie nécessaire pour transformer 32 molécules d'ADP en ATP, tandis que la réaction anaérobie de transformation du glucose en acide lactique ne fournit que l'énergie suffisant à la phosphorylation de 2 molécules d'ADP.

OXYDATION ET RÉDUCTION

Naturellement, nous avons présenté les réactions chimiques et les phénomènes de la respiration cellulaire dans leur forme la plus élémentaire : un exposé plus complet imposerait que l'on prît en considération toutes les réactions de réduction qui se produisent simultanément aux réactions d'oxydation, ainsi que l'action des très nombreux catalyseurs qui interviennent dans chaque réaction.

On peut dire brièvement que chaque phénomène d'oxydation s'accompagne toujours d'un phénomène correspondant de réduction ou enlèvement d'oxygène ; en effet, si nous admettons que l'oxydation n'est pas tant un passage d'oxygène d'une molécule à une autre qu'un passage d'électrons d'une molécule de forme plus réduite, c'est-à-dire plus riche en électrons, vers une autre molécule plus oxydée, c'est-à-dire plus pauvre en électrons, il apparaît clairement que, pendant que la première molécule perd des électrons, donc qu'elle s'oxyde, la seconde, simultanément, les acquiert et se réduit.

Ainsi, la dégradation d'une molécule de glucose en CO_2 *et* H_2O *comporte dans la cellule un grand nombre de passages d'électrons des substances plus réduites vers d'autres substances plus oxydées, passages qui sont favorisés par la présence de nombreuses enzymes ; parmi elles, rappelons la déshydrogénase, capable de céder des électrons, les cytochromes, systèmes oxydo-réducteurs réversibles, et les oxydases, qui favorisent la cession d'électrons directement à l'oxygène.*

Ces différents phénomènes se déroulent au niveau d'organites cellulaires, appelés chondriosomes, sur la membrane desquels seraient localisées les substances nécessaires pour la respiration cellulaire, tandis que la matrice, située à l'intérieur, aurait pour tâche d'évacuer les différentes substances et de fournir aux enzymes présentes sur les membranes des composés auxiliaires appelés coenzymes.

En particulier, c'est sur les membranes externes des mitochondries que se dérouleraient les processus d'oxydation qui fournissent les électrons et que seraient catalysées toutes les réactions de synthèse grâce auxquelles l'ATP fournit de l'énergie ; sur les membranes internes, en revanche, se trouvent les particules destinées au transport des électrons, transport qui s'effectue à travers toute une chaîne de complexes chimiques qui conduisent à la synthèse de l'ATP.

On est parvenu à ces conclusions grâce à une intéressante expérience : en bombardant par les ultrasons les mitochondries, on a observé que, tandis que la fonction de transport des électrons se poursuivait régulièrement, les autres fonctions étaient rapidement inhibées.

Aujourd'hui on a pu recueillir aussi des données quantitatives relativement précises sur la respiration cellulaire grâce à l'emploi de microrespiromètres, appareils complexes qui permettent de relever les quantités d'oxygène utilisées et de CO_2 *expulsées par une cellule à la suite d'un travail déterminé ; ces données permettent de calculer la quantité de glucose dégradée et, par conséquent, les calories produites.*

SENSIBILITÉ CELLULAIRE ET TROPISMES

La faculté de percevoir des stimulations provenant du milieu extérieur n'est certainement pas l'apanage des seuls organismes évolués; même les êtres les plus simples, comme une Algue unicellulaire ou une amibe, possèdent la capacité de percevoir de tels stimuli et de répondre à ces derniers par des réactions adaptées aux circonstances.

De même qu'il existe une échelle d'organisation depuis les êtres unicellulaires jusqu'aux plus évolués, de même la sensibilité aux sollicitations internes ou externes varie, le plus souvent, en fonction du rapport entre la taille et la complexité du corps d'une part et les capacités de perception d'autre part.

Si l'Algue unicellulaire marine a seulement à « connaître » du milieu environnant la température, la pression, la luminosité, la salinité, en revanche, un habitant de la forêt, comme un gorille ou un boa, doit être capable de percevoir l'état de ses propres organes, de voir les corps environnants, d'entendre les sons, de distinguer les saveurs, de coordonner les mouvements pour pouvoir cueillir la noix de coco et la reconnaître comme fruit comestible, dans le cas du premier, ou reconnaître et capturer une proie dans le cas du second.

Chez les animaux supérieurs, la fonction de perception appartient aux cellules sensorielles et au système nerveux, plus ou moins développé selon le degré d'évolution; en revanche, chez les végétaux, supérieurs ou inférieurs, et chez les animaux inférieurs, il n'existe pas de système nerveux, les différentes cellules étant dotées d'une sensibilité propre. Nous allons traiter uniquement de la sensibilité du protoplasme cellulaire, donc des organismes unicellulaires et des organismes pluricellulaires les plus simples.

LES MÉTHODES DE RECHERCHE

Les études relatives à la sensibilité cellulaire sont uniquement de nature expérimentale et les conclusions auxquelles elles ont permis d'aboutir au terme de nombreux essais et sur la base de résultats concordants peuvent être considérées suffisamment conformes à la réalité.

Ainsi on a pu affirmer l'existence d'une sensibilité de la cellule aux variations d'intensité des stimuli extérieurs en constatant, pour une cellule donnée, un rapport toujours identique entre stimulus et réaction.

Une expérience très connue concerne certains Protozoaires et certaines Algues unicellulaires : placés dans une coupe contenant de l'eau et présentant des zones diversement éclairées, ces êtres migrent des zones moins éclairées vers les zones plus claires et s'arrêtent dans la zone de luminosité la plus favorable à leur existence; de même, une paramécie, Protozoaire cilié, placée dans un champ électrique, migre toujours vers le pôle positif, montrant ainsi qu'elle est parfaitement capable de percevoir la différence de potentiel électrique qui existe d'un point à l'autre du champ.

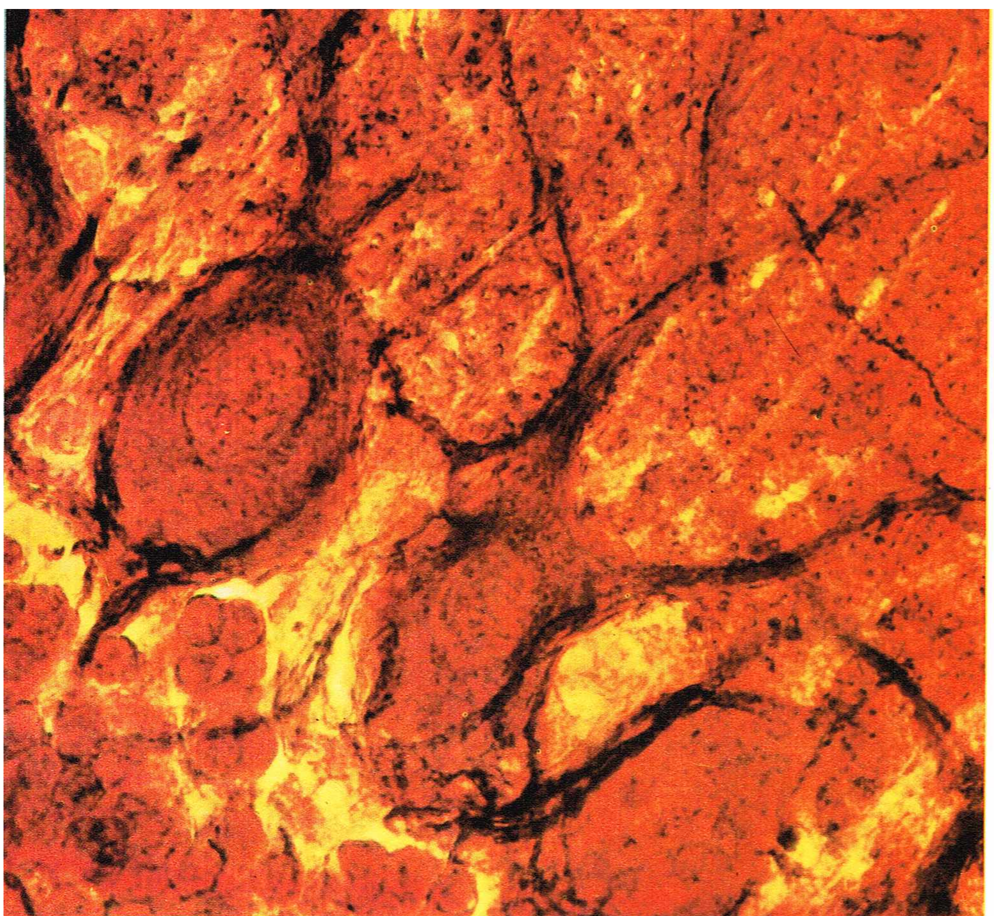
Les observations faites directement dans la nature sont très nombreuses : particulièrement intéressantes sont celles relatives aux migrations du plancton, tant marin que d'eau douce, et qui ont montré que le plancton est sensible aux variations lumineuses; ainsi il remonte à la surface seulement au crépuscule, car la lumière incertaine le rend beaucoup moins visible aux animaux qui s'en nourrissent.

On peut donc affirmer que la nature a, d'une certaine manière, conditionné les perceptions et les réactions de ces organismes pour les rendre aptes à reconnaître certaines conditions du milieu, comme les différences d'intensité lumineuse, et cela toujours en vue d'assurer leur survie et en l'absence de toute forme de volonté cons-

A. Sella



Une feuille de *Drosera rotundifolia* : il s'agit d'une minuscule plante insectivore dont les tentacules se courbent sur leur proie grâce à la sensibilité des cellules qui constituent la feuille même.



P. Castano

Cellules nerveuses du cervelet (cellules de Purkinje) avec leurs noyaux et leurs dendrites ; elles constituent le plus merveilleux exemple de sensibilité et de conductibilité du protoplasme.

ciente ; tous ces processus sont réglés par des phénomènes purement mécaniques, sous la dépendance de réactions chimiques.

LES STIMULI ET LEUR CONDUCTION

Les stimuli qu'une cellule est susceptible de percevoir sont essentiellement de nature thermique, chimique, lumineuse, mécanique et électrique.

Chaque cellule répond à ces stimuli toujours d'une manière spécifique, soit pour s'en éloigner, soit pour s'en approcher ; ces réponses sont des contractions, des émissions lumineuses, la sécrétion de substances capables de neutraliser le stimulus, l'émanation de légères décharges électriques. Ce qu'il importe de souligner est que chaque cellule de même type réagit de manière identique lorsqu'elle reçoit le même stimulus : inversement, deux cellules différentes, même si elles sont apparemment très semblables, présentent des réactions souvent très dissemblables, révélant ainsi l'existence de différences importantes au niveau du protoplasme.

Un autre fait caractéristique est que la cellule possède un seuil très précis d'excitabilité, toujours constant pour chaque stimulus et pour chaque type de cellule.

Si, par exemple, on pique avec une aiguille microscopique la paroi d'une cellule, d'abord légèrement, puis en augmentant progressivement la pression, on notera que la cellule reste dans un premier temps parfaitement inerte, puis se contracte subitement pour éloigner sa paroi de l'aiguille ; si l'on poursuit en pénétrant dans la paroi, la contraction n'augmente pas : ainsi la réaction est totale dès que le stimulus atteint le seuil.

Le problème de la conductibilité du protoplasme, c'est-à-dire du mode de perception du stimulus dans la zone de stimulation et du mode de propagation de l'effet produit dans toute la cellule, et souvent même dans les cellules voisines, sans diminution d'intensité, a fait l'objet de nombreuses hypothèses : les unes envisageaient cette conductibilité comme un phénomène d'oxydation, d'autres se référaient à des transformations chimiques en chaîne, de différente nature. La plus probable est la théorie moderne dite des impulsions. D'après cette théorie, la conductibilité du protoplasme serait due à une série d'impulsions, de type probablement analogue aux impulsions électriques, transmises de proche en proche.

On distingue aussi dans les différents organismes unicellulaires et dans de nombreux organismes pluricellulaires inférieurs des zones particulières de la cellule ou des régions du corps de l'animal ou du végétal qui sont particulièrement sensibles à une stimulation donnée ; il existe, par exemple, chez l'Algue unicellulaire Euglena viridis, *une tache de pigment sensible aux variations lumineuses (photorécepteur) ; en effet, la structure chimique du pigment varie en fonction de l'intensité de la lumière.*

LES TROPISMES

Par les termes de tropisme, tactisme ou taxie, on désigne les réactions obligatoires, qu'il s'agisse d'attraction ou de répulsion, qui font suite à la stimulation d'une cellule et qui révèlent la perception du stimulus de la part du protoplasme.

Les tropismes — thermotropisme (réaction à la chaleur), chimiotropisme (réaction à des substances chimiques), phototropisme (réaction à la lumière) — sont dits positifs lorsque le mouvement de la cellule s'effectue vers le stimulus, négatifs dans le cas contraire ou lorsque apparaissent des signes de souffrance.

Ainsi on parle de chimiotropisme positif dans le cas de la paramécie, qui s'approche des bulles d'air que l'on introduit dans l'eau où elle vit ; on parle au contraire de chimiotropisme négatif lorsque cette même paramécie fuit devant une goutte de substance vénéneuse.

Pour plus de précision, il faut ajouter que les réactions obligatoires qui consistent en un mouvement de la cellule sont appelées topotaxies, tandis que le terme de tropisme englobe aussi les réactions qui s'effectuent sans déplacements (contractions, émission de lumière, etc.).

Tindbergen distingue les topotaxies en clinotaxies et tropotaxies : les premières sont les réactions à des stimuli diffus (odeurs, salinité), les secondes à des stimuli provenant d'une direction bien déterminée (lumière).

Un cas tout à fait remarquable s'observe chez certains êtres qui réagissent au rayonnement lumineux par un mouvement qui les porte à présenter à la lumière leurs récepteurs lumineux toujours selon le même angle (ménotaxie) : ainsi, un de ces animaux, exposé à un faisceau de rayons lumineux parallèles, se déplace en zigzag suivant une certaine inclinaison qui reste constante, et jamais parallèlement aux rayons.

On peut pratiquement affirmer que toute la vie aquatique inférieure est réglée essentiellement par des tropismes qui poussent les larves à une profondeur plus ou moins grande selon l'espèce (bathytropisme), ou dans des zones de salinité différente, de telle sorte que les larves des êtres qui, à l'état adulte, sont liés aux substrats (par exemple les coraux), vont se fixer dans les zones où l'adulte trouvera les conditions de vie optimales.

Dans un grand nombre de cas, même l'accouplement n'est qu'un phénomène de chimiotropisme positif : les individus d'un sexe répandent dans l'eau des substances chimiques qui attirent irrésistiblement les individus du sexe opposé.

Nous venons de parler essentiellement des êtres unicellulaires et pluricellulaires inférieurs ; il existe cependant de très nombreux cas de tropisme même chez les Insectes, surtout chez les larves, et aussi chez d'autres animaux relativement complexes et évolués.

Ces derniers possèdent un système nerveux simple, excluant tout mouvement volontaire ou conscient ; en effet, la vie de ces êtres est presque totalement dirigée par les tropismes.

Rappelons, en guise d'exemple, les blattes et les larves des Diptères, qui fuient systématiquement la lumière, ou encore la larve du papillon Portesia chrysorrhea, *qui manifeste un phototropisme positif lorsqu'elle est en période de croissance et monte vers la lumière au sommet des arbres, dont les feuilles constituent sa nourriture. Puis, une fois la croissance achevée, elle présente un phototropisme négatif et descend à nouveau vers le sol, où elle se transforme en chrysalide. C'est aussi vers la terre que s'oriente la forficule, ou perce-oreille : on parle alors de géotropisme.*

LES ENZYMES

Les enzymes sont des protéines qui présentent la propriété particulière de jouer le rôle de catalyseurs dans des réactions chimiques déterminées ; celles-ci mettent toujours en cause des substances organiques, soit à l'intérieur, soit à l'extérieur d'organismes vivants. Ces réactions sont indispensables au cycle biologique et à la physiologie du monde vivant. Notons que les enzymes étaient jadis appelées diastases. Les enzymes sont synthétisées au niveau de la cellule par les différents organismes vivants comme toutes les autres protéines ; leur action catalysante, qui peut s'exercer tant à l'intérieur qu'à l'extérieur de l'organisme producteur, tend à rendre possibles, à une température et à une pression compatibles avec la vie, de nombreuses réactions qui exigeraient en laboratoire des pressions et des températures très élevées.

Les enzymes servent aussi à accélérer certaines réactions qui, en leur absence, se produisent trop lentement pour que les produits qui en résultent soient utiles à l'organisme. Si en effet, pour citer un exemple, il fallait une semaine pour dégrader entièrement en glucose l'amidon ingéré par l'absorption d'une pomme de terre, on comprend facilement que, dans ces conditions, aucun organisme ne pourrait faire face aux exigences d'énergie en cas de besoin.

Le terme d'enzymes par lequel on désigne actuellement ces protéines — terme qui signifie « à l'intérieur du levain » — est dû à Kühne ; auparavant, Pasteur les avait appelées « ferments » et les distinguait en « ferments organiques », situés à l'intérieur de la cellule, tant chez les organismes supérieurs que chez les micro-organismes, et en « ferments solubles », situés à l'extérieur des cellules, dans le suc intestinal et dans les sécrétions glandulaires en général.

Étant des protéines, les enzymes sont formées de chaînes d'acides aminés. Elles se divisent en deux grands groupes : les enzymes constituées de protéines simples, dans lesquelles le « groupement actif » de l'enzyme est étroitement lié à celle-ci, à tel point que si on l'en détache, l'enzyme est inactivée et perd le pouvoir de catalyser la réaction correspondant à sa spécificité ; les enzymes constituées de protéines conjuguées, c'est-à-dire de protéines formées d'un groupement « prosthétique » non spécifique (qui comprend lui-même des molécules variées) et de la protéine proprement dite. Dans ce cas, le groupement prosthétique se confond, dans la quasi-totalité des cas, avec le groupement actif de l'enzyme et prend le nom de coenzyme, tandis que la protéine est appelée apoenzyme. L'enzyme active résulte donc de l'union du coenzyme et de l'apoenzyme.

Très souvent, les groupements prosthétiques contiennent une ou plusieurs molécules de vitamines, substances particulières que l'organisme n'est pas capable de synthétiser et qu'il doit puiser dans les aliments ingérés. Cela démontre à quel point un manque de vitamine peut être grave ; en effet, une telle carence nuirait à la synthèse de certaines enzymes et, par conséquent, empêcherait ou ralentirait toute une chaîne de réactions indispensables au fonctionnement normal de l'organisme. Aujourd'hui on connaît environ 700 enzymes, dont quelques-unes sont communes à tous les êtres vivants, d'autres sont propres aux organismes végétaux et d'autres encore aux organismes animaux.

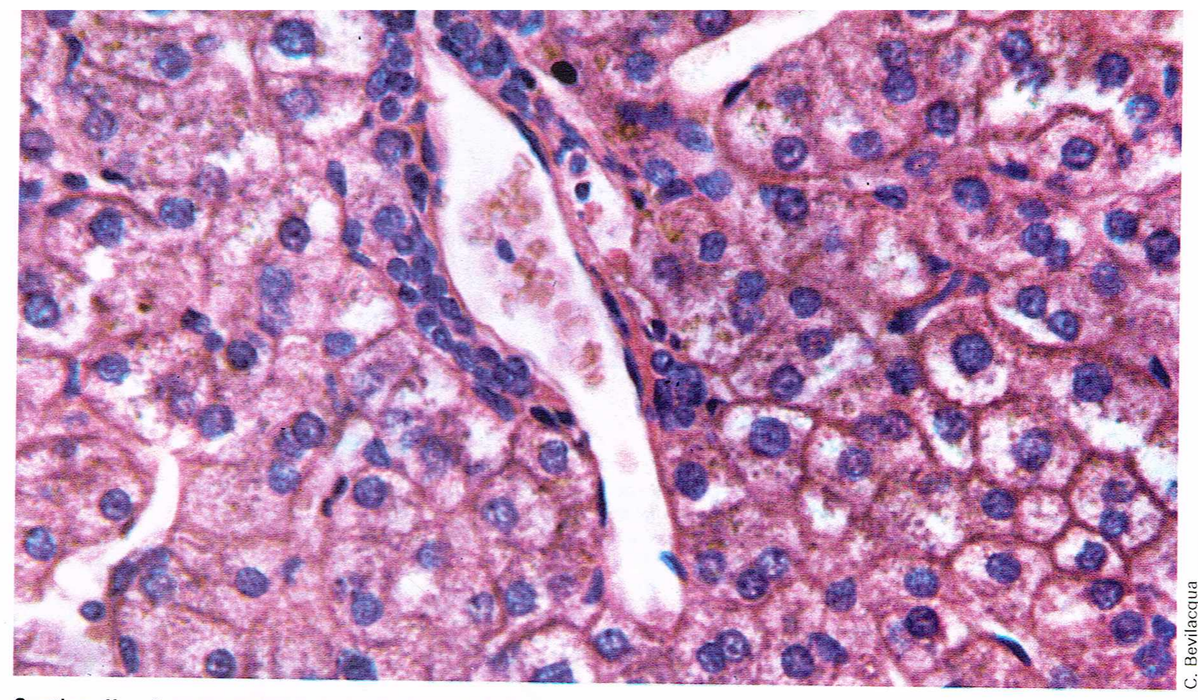
Naturellement, l'équipement enzymatique des individus varie selon les espèces et dépend aussi du type d'alimentation et des différentes fonctions physiologiques. Enfin, dans chaque organisme, la distribution des enzymes dans la cellule varie selon les tissus et les organes : on trouve certaines enzymes dans la salive (ptyaline), d'autres dans le suc pancréatique (lipases, amylases), d'autres dans le suc gastrique, etc. Notons encore qu'à l'intérieur de la cellule les enzymes ne sont pas libres dans le protoplasme, mais sont contenues dans des organites spéciaux, les lysosomes et les microsomes.

P. Castano

Fragment de tubercule de pomme de terre observé en lumière polarisée : on remarque les nombreux grains d'amidon qui constituent un matériel de réserve pour la plante et un aliment à haut pouvoir énergétique pour l'homme après l'intervention d'enzymes de dégradation spécifiques.

PROPRIÉTÉS DES ENZYMES

Il est évident que, puisqu'il s'agit de protéines, les enzymes possèdent les mêmes propriétés que les protéines dépourvues de pouvoir catalysant ; en particulier, elles sont dénaturées, c'est-à-dire précipitées irréversiblement, par la chaleur au-dessus de 60 °C, par les acides et par les bases fortes. Un des caractères particuliers des enzymes, caractère qui les distingue des autres catalyseurs, est leur spécificité, tant à l'égard du groupement chimique qu'à l'égard du substrat. Cette spécificité peut être absolue ou relative, c'est-à-dire moins exclusive.



Section d'un fragment de foie ; outre les cellules hépatiques, on voit une branche de la veine porte. Cette volumineuse glande des organismes animaux élabore des enzymes qui revêtent une importance déterminante dans les phénomènes de la digestion (× 400 × 2) [coloration de contraste].

Ainsi une enzyme peut attaquer seulement un ou, au plus, un petit nombre de groupements ou de liaisons chimiques bien déterminés, et reste parfaitement inactive à l'égard des autres ; par exemple, l'éthanol-déshydrogénase, que l'on trouve dans le foie de cheval, agit sur les alcools ; les amylases attaquent les polysaccharides, la pepsine les liaisons peptidiques, tandis que la trypsine, qui a une spécificité relative, agit aussi bien sur les liaisons peptidiques que, bien que plus lentement, sur les esters.

Souvent, outre la spécificité à l'égard d'un groupe chimique, l'enzyme présente aussi une spécificité de substrat, qui limite l'activité de l'enzyme à un seul, ou à un tout petit nombre de composants du groupe ; il en est ainsi pour certaines aminodécarboxylases, qui n'ont pas le pouvoir de décarboxyler tous les acides aminés, mais seulement quelques-uns d'entre eux.

MODE D'ACTION DES ENZYMES

Le mécanisme d'action des enzymes est assez complexe et implique toujours un abaissement de la différence de niveau énergétique existant entre les molécules normales et les molécules « activées », c'est-à-dire celles présentant une énergie suffisante pour entrer dans la réaction. L'abaissement de la différence de niveau énergétique peut s'obtenir de deux manières : soit en élevant le niveau énergétique de tout le système, ce qui comporte une action énergique, que l'on peut obtenir, par exemple, par chauffage ou par augmentation de la pression, soit en abaissant le niveau énergétique des molécules activées, c'est-à-dire en faisant en sorte que la molécule ait besoin de moins d'énergie pour devenir active.

Les enzymes agissent habituellement en abaissant le niveau énergétique des molécules activées ; à cet effet, elles se lient chimiquement aux molécules à activer, donnant ainsi naissance à un composé intermédiaire, à basse énergie d'activation, qui entre facilement dans la réaction. Une fois achevées toutes les réactions nécessaires, l'enzyme se sépare des molécules des composés issus de la réaction, reprenant ainsi une forme libre et redevenant capable d'agir dans un nouveau processus.

On comprend donc facilement que la vitesse de la réaction enzymatique dépend en grande mesure de la concentration de l'enzyme ; en effet, plus le nombre de molécules d'enzyme est élevé, plus nombreuses seront les molécules de substrat qui s'associeront à l'enzyme et entreront rapidement en réaction. La concentration du substrat influe aussi considérablement sur la rapidité de la réaction enzymatique : en effet, lorsqu'il existe peu de moles (mole = molécule-gramme) de substrat par rapport au nombre de moles de l'enzyme, un grand nombre de celles-ci resteront inactives. Donc l'activité enzymatique sera inférieure au pouvoir enzymatique normal, ce qui aura pour conséquence de réduire la vitesse de réaction. Si l'on augmente la quantité de substrat, toutes les moles de l'enzyme seront utilisées et la vitesse de réaction augmentera, l'enzyme opérant au maximum de ses possibilités. Si l'on augmente encore les moles de substrat, on observe que la vitesse de réaction augmente elle aussi jusqu'à un certain niveau, pour rester ensuite constante, quelle que soit la quantité de substrat ajoutée.

Ce phénomène s'explique par le fait que lorsque toutes les moles de l'enzyme sont liées au substrat et participent à la réaction, l'addition d'une nouvelle quantité de substrat ne peut avoir aucun effet, puisqu'il n'existe plus d'enzyme libre disponible. La courbe qui représente ce phénomène (équation de Michaélis et Menten) a donc une forme logarithmique.

Il est évident que la température et le pH ont également une influence sur la vitesse de réaction enzymatique, puisque chaque enzyme possède un pH et une température assurant un résultat optimal : la température ne doit jamais dépasser 60 °C, sous peine de dénaturation de l'enzyme.

L'enzyme, comme nous l'avons déjà dit, peut être inactivée par une température élevée, par les acides et les bases fortes, mais son action peut aussi se trouver inhibée pendant un certain temps et ne se rétablir que lorsque l'agent inhibiteur aura été éliminé. Les inhibiteurs sont des composés chimiques qui se lient à l'enzyme et l'empêchent d'exercer ses fonctions ; ce sont souvent les produits de la réaction enzymatique qui jouent le rôle d'inhibiteur lorsqu'ils atteignent une certaine concentration. Ce mécanisme d'inhibition a pour effet d'empêcher que l'enzyme ne produise de nouvelles quantités de composé inhibiteur, qui pourraient atteindre parfois des concentrations trop élevées et nuisibles à l'organisme.

Les inhibiteurs peuvent être plus ou moins spécifiques, c'est-à-dire agir sur une seule ou sur plusieurs enzymes.

A l'inverse des inhibiteurs, il existe des activateurs enzymatiques, constitués de différentes substances, elles aussi plus ou moins spécifiques, qui augmentent considérablement l'activité de l'enzyme et qui, dans certains cas, sont même indispensables pour en permettre l'action, comme les cations de magnésium pour la pyruvico-oxydase, le manganèse pour différentes peptidases, le zinc pour l'anhydrase carbonique.

Pour ce qui est de la capacité des organismes de synthétiser les enzymes utiles à leur métabolisme, il faut noter que cette capacité est étroitement dépendante de facteurs génétiques et se transmet par l'hérédité ; cependant, chaque fois que l'organisme se trouve obligé d'utiliser des substances dont la dégradation fait intervenir une enzyme non inscrite dans le génotype de l'individu, ce dernier peut acquérir la capacité de la synthétiser, dans la nécessité d'assurer sa survie. Toutefois ce phénomène se rencontre plus souvent chez les organismes inférieurs et il est très rare, sinon impossible, chez les organismes supérieurs.

L'OSMOSE

L'osmose constitue un des principaux phénomènes indispensables à la vie, tant dans le monde végétal que dans le monde animal : il s'agit d'un mécanisme particulier d'absorption et d'élimination de l'eau et des sels à travers des membranes semi-perméables.

Ce phénomène, qui détermine la plupart des échanges nutritifs des cellules vivantes, se produit mécaniquement, sans l'intervention active de la cellule, donc sans dépense d'énergie ; il est sous la dépendance de la pression que les molécules d'une solution exercent sur la membrane cellulaire, qui joue le rôle de membrane semi-perméable ; cette pression est la pression osmotique.

Les premières études sur la pression osmotique ont été effectuées par le botaniste Pfeffer, qui fit des expériences intéressantes sur les cellules des racines de Tradescantia, Curcuma, Begonia *et d'autres plantes. On sait que ces cellules sont entourées d'une paroi de cellulose, une sorte d'appareil de soutien pour la cellule, cette dernière étant munie à son tour d'une paroi cellulaire normale.*

On connaît également la structure du cytoplasme, qui donne à celui-ci l'aspect d'un liquide aqueux contenant en solution certains colloïdes (substances à aspect gélatineux) ainsi que du glucose et des sels. Les rapports des concentrations du cytoplasme et des liquides extérieurs peuvent être de trois types : 1) la concentration en sels du liquide externe est égale à celle du cytoplasme ; dans ce cas, la solution dans laquelle baigne la cellule est dite isotonique *avec le cytoplasme ; 2) la concentration en sels dans la solution extérieure à la cellule est plus élevée que la concentration du cytoplasme ; dans ce cas, la solution externe est dite* hypertonique *par rapport au cytoplasme ; 3) la concentration saline de la solution externe est plus faible que la concentration du cytoplasme : dans ce cas, la solution externe est* hypotonique *par rapport à la solution cellulaire.*

Si nous plaçons une cellule de racine de Tradescantia *dans une solution isotonique, l'observation microscopique ne montrera aucun changement, car aucun échange ne se produit entre la cellule et la solution extérieure ; si, à l'inverse, nous plaçons la même cellule dans une solution hypotonique, on notera un passage massif d'eau de la solution extérieure vers la cellule, qui se gonflera. Le phénomène contraire se produit lorsqu'on place la cellule dans une solution hypertonique : l'eau sortira rapidement de la cellule, dont la concentration est inférieure, et passera dans la solution de plus forte concentration ; de ce fait, le protoplasme se réduira par déshydratation.*

L'utilisation de membranes semi-perméables artificielles, par exemple de la Cellophane pour les pressions faibles, a fourni des données précises sur la pression osmotique : rappelons seulement qu'une solution de saccharose à 1 % provoque une pression osmotique de 2/3 d'atmosphère.

A la suite de tous ces travaux, Van't Hoff formula la loi qui porte son nom : des volumes égaux de solutions de différentes substances, dans un même solvant, à la même température, et ayant la même pression osmotique, contiennent un nombre égal de molécules dissoutes.

En conclusion, à cause de la pression osmotique qui agit sur une membrane semi-perméable, l'eau passe de la solution moins concentrée vers la solution plus concentrée, jusqu'à ce que les deux solutions deviennent isotoniques.

LA PLASMOLYSE

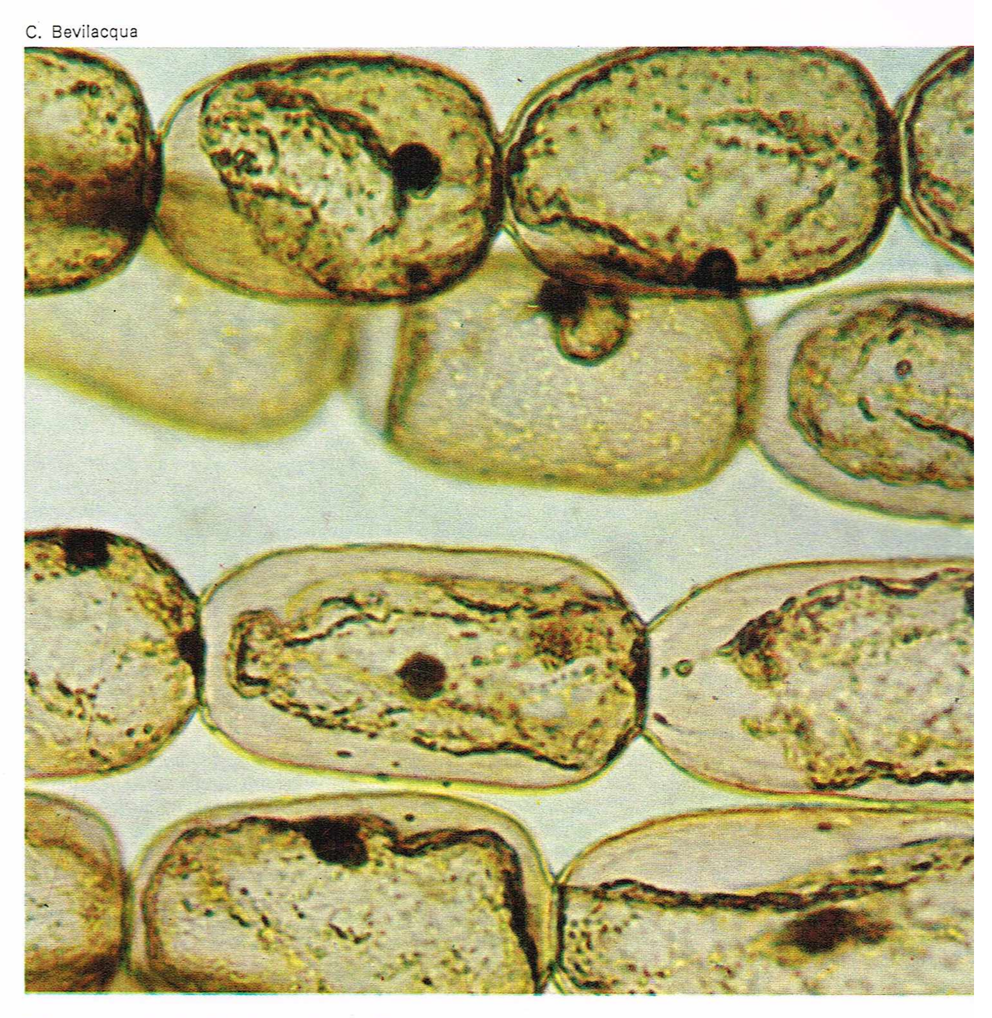
L'expérience citée de l'immersion d'une cellule de racine de Tradescantia *dans une solution hypertonique met en lumière l'important phénomène de la plasmolyse ; ce phénomène provoque dans la cellule végétale une diminution du volume du protoplasme, qui se détache de la paroi cellulosique, à laquelle il reste uni seulement par quelques brides cytoplasmiques.*

En effet, l'eau sort de la cellule placée dans une solution hypertonique et le cytoplasme se réduit, tandis que le cadre cellulosique ne change pas ; on constate ainsi une différence entre les dimensions de la cellule et de l'enveloppe cellulosique qui auparavant coïncidaient parfaitement.

Si la durée de la plasmolyse n'est pas trop prolongée, on peut faire revenir la cellule à ses dimensions normales en la plaçant dans de l'eau distillée ou dans un milieu hypotonique ; on assiste alors au phénomène inverse : l'eau passe du milieu hypotonique vers l'intérieur de la cellule, qui reprend ses dimensions normales.

Il arrive parfois que la cellule revienne à ses dimensions normales, tout en restant dans un milieu hypertonique ; ce phénomène, assez singulier, est dû au fait que la cellule, pour se défendre contre la plasmolyse, commence à élaborer des substances salines qui augmentent la pression osmotique du milieu cellulaire, rendant ainsi

C. Bevilacqua



Filaments pluricellulaires d'une *Tradescantia* : dans la majorité des cellules, on observe le cytoplasme en partie détaché des parois sous l'effet du phénomène de plasmolyse.



P. Castano



P. Castano

A gauche : cellules d'un tissu végétal à l'état normal ; à droite : les mêmes cellules ayant subi la plasmolyse, provoquée par une solution de chlorure de sodium (× 250 × 1,5) [coloration de contraste].

moins grande la différence de concentration entre milieux extérieur et intérieur ; il s'ensuit la pénétration d'une certaine quantité d'eau et, bien que faible, celle-ci est suffisante pour donner à la cellule un aspect moins « rabougri ».

En outre, une petite partie des sels dissous dans le milieu hypertonique parvient lentement à pénétrer dans la cellule, élevant encore sa pression osmotique et provoquant une pénétration ultérieure d'eau.

Le terme de plasmolyse s'applique aussi au phénomène inverse de celui que nous venons de décrire et qui consiste en la rupture de la paroi plasmatique, et même de l'enveloppe cellulosique, à cause du gonflement excessif de la cellule, gonflement qui se produit lorsque la cellule, placée en milieu hypotonique, absorbe une quantité d'eau excessive, attirée par la pression osmotique du cytoplasme, supérieure à la pression du liquide extérieur.

Même dans ce cas, du moins tant que la rupture des parois ne s'est pas produite, la cellule a la possibilité de revenir à l'état normal si on la place en milieu hypertonique de manière à provoquer la sortie de l'eau en excès.

Le règne animal nous offre aussi des exemples de phénomènes analogues à ceux observés chez les végétaux. Rappelons à ce propos que la paroi cellulaire des globules rouges du sang fonctionne comme une membrane semi-perméable lorsque le globule rouge est placé dans l'eau distillée ou dans une solution hypertonique.

Ainsi, en faisant tomber des gouttes de sang dans l'eau, on note que celle-ci rougit uniformément à cause de l'hémoglobine libérée par les érythrocytes qui éclatent sous l'effet de l'excès d'eau absorbée du milieu hypotonique.

Les globules rouges se trouvent donc suspendus, en même temps que les autres éléments figurés du sang, dans une solution physiologique à 0,91 % de chlorure de sodium ; cette solution doit être donc parfaitement isotonique avec leur cytoplasme, car des concentrations salines supérieures provoqueraient une déshydratation importante du globule rouge, qui prendrait un aspect rabougri.

Les phénomènes dont nous venons de parler sont largement exploités en laboratoire pour les techniques de culture in vitro *; dans de nombreux cas, les cellules à examiner sont laissées tout d'abord pendant un certain temps dans une solution hypotonique, soigneusement dosée, afin de rendre les cellules plus turgescentes, donc plus facilement observables.*

L'IMPORTANCE DE L'OSMOSE POUR LA VIE

On sait que la vie, du moins telle qu'elle existe sur notre planète, est étroitement liée à l'eau, aucun organisme ne pouvant survivre en l'absence absolue d'eau.

L'eau est absorbée par les cellules par osmose, proportionnellement aux quantités de sels dissous dans le protoplasme.

Depuis les Bactéries et les Protozoaires, qui, étant unicellulaires, sont en rapport osmotique direct avec l'eau, qui en constitue le milieu vital, jusqu'aux végétaux supérieurs, qui absorbent l'eau du sol par osmose par l'intermédiaire des cellules de la racine, et aux animaux supérieurs, chez lesquels ce processus est, à première vue, moins évident, l'eau est toujours présente.

L'eau ingérée par l'animal, qu'elle soit libre ou liée aux aliments, est absorbée par les villosités intestinales, passe dans la lymphe et, à travers les capillaires lymphatiques, dans les espaces cellulaires des tissus, d'où, enfin, elle est absorbée par osmose par chaque cellule.

RÉGULATION OSMOTIQUE

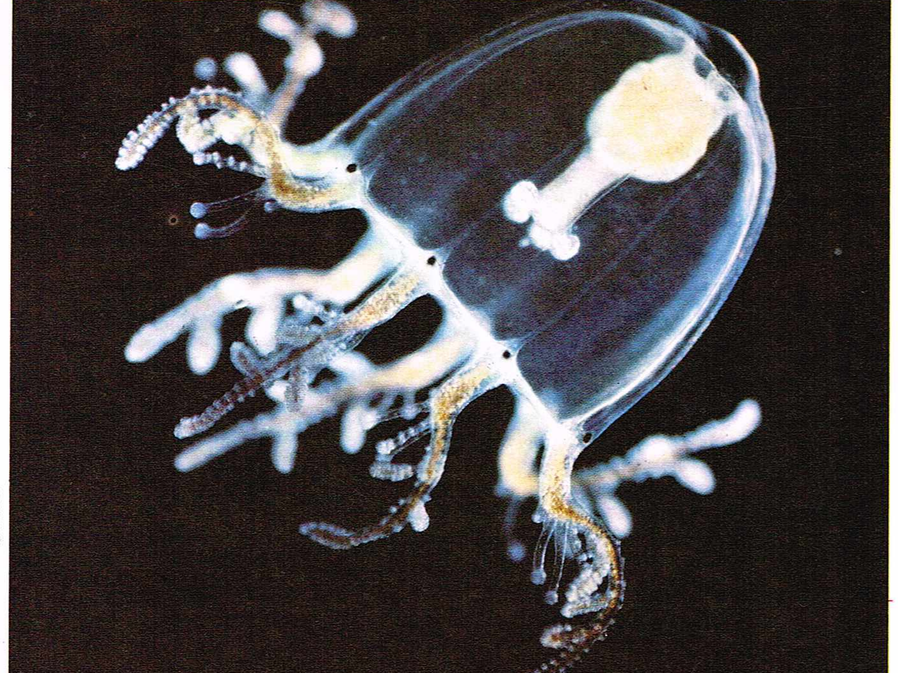
Le problème des échanges d'eau entre milieu externe et milieu interne ne se pose pas pour les animaux qui vivent sur la terre ou dans l'air. En revanche, ce problème revêt une très grande importance pour les animaux qui vivent dans un milieu liquide, car ils pourraient perdre ou absorber continuellement de l'eau, soit à travers les téguments, soit à travers les branchies, selon que le milieu externe est hypertonique ou hypotonique par rapport au milieu interne.

Les Invertébrés marins présentent habituellement des liquides internes isotoniques avec l'eau de mer et, partant, ne sont sujets ni à des pertes d'eau, ni à des absorptions massives à partir du liquide extérieur. La concentration saline dans les liquides internes de ces animaux n'est pas constante, mais varie dans certaines limites en fonction des variations du milieu.

Les Vertébrés, et quelques rares Invertébrés, ont au contraire une concentration saline des liquides internes assez constante, et donc relativement indépendante de celle du milieu extérieur, grâce au pouvoir de régulation osmotique qui leur permet de contrôler activement les échanges d'eau. Notons, par exemple, que, parmi les Poissons téléostéens, il existe des espèces d'eau douce et des espèces d'eau marine, mais tous sont capables de maintenir constante la concentration saline de leurs liquides internes, en dépit de la différence considérable des deux milieux. Les premiers vivent dans un milieu hypotonique et possèdent des reins capables d'éliminer l'énorme excédent d'eau introduit par osmose ; les seconds doivent au contraire retenir le plus d'eau possible et possèdent des reins capables d'éliminer peu d'eau et beaucoup de sels par une urine presque solide.

En outre, ces Poissons présentent des revêtements muqueux importants, qui empêchent les échanges osmotiques par voie cutanée. C'est le cas de l'anguille, qui passe sans dommage du milieu marin au milieu fluvial : si elle était dépourvue d'un revêtement muqueux, elle ne serait pas capable de supporter ces différences de salinité.

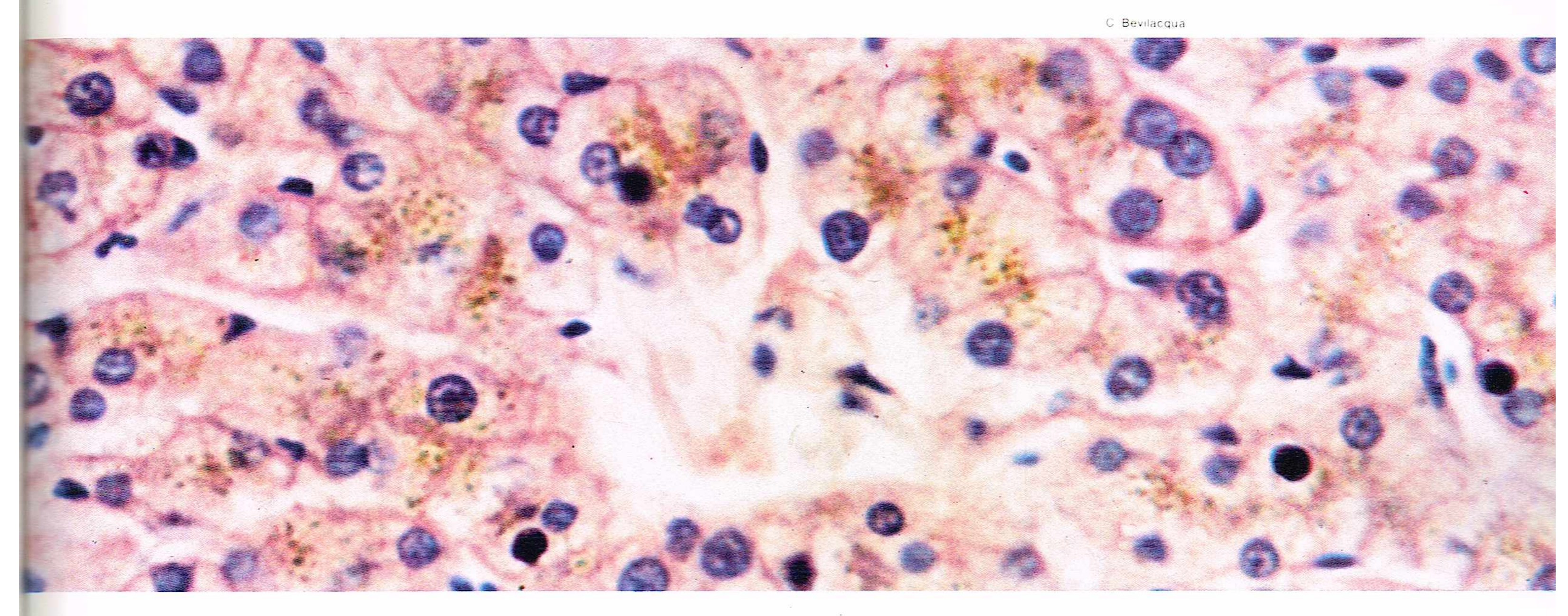
La régulation osmotique est une condition essentielle de survie pour tous les organismes qui vivent dans l'eau ; c'est le cas notamment des méduses : ici *Cladonema radiatum*.



G. Mazza

MITOSE ET AMITOSE

C. Bevilacqua



Fragment de foie vu au microscope; il est constitué d'un très grand nombre de cellules, les cellules hépatiques, qui se reproduisent par mitose.

Il est bien connu que chaque cellule dérive d'une cellule semblable, que les êtres unicellulaires se multiplient, avec ou sans accouplement, par scission en deux ou plusieurs parties de la cellule initiale, que l'homme lui-même, dans sa complexité, est formé d'un ensemble de cellules dérivées par divisions successives d'une cellule unique, l'œuf.

Si nous nous penchons maintenant sur les modalités de division des cellules, nous observerons qu'il existe deux types de reproduction cellulaire : le premier, direct, et appelé amitose, *est très rare ; le second, indirect, est désigné sous le nom de* mitose *et s'observe chez la quasi-totalité des organismes végétaux et animaux.*

L'amitose est un processus très simple, un peu imparfait, auquel la nature a rarement recours : les cellules filles qui naissent d'une division amitotique ne sont parfaitement égales ni entre elles, ni avec la cellule mère. Si, par hypothèse, on envisageait ce mode de reproduction pour les cellules de la peau chez l'homme, il s'ensuivrait, comme on peut facilement le comprendre, un défaut de continuité très préjudiciable du tissu cutané.

L'amitose se déroule selon un processus très simple : la cellule qui va se diviser s'étire lentement, pendant que le noyau, qui s'est placé entre-temps au centre de la cellule (s'il était excentrique), subit lui aussi une élongation. Il apparaît ensuite un étranglement central qui donne au noyau et à la cellule en général une forme caractéristique « en biscuit » ; cet étranglement s'accentue ensuite dans le noyau jusqu'à la coupure de ce dernier en deux parties qui s'éloignent l'une de l'autre ; lorsque les deux noyaux se sont séparés, tout le cytoplasme se divise à son tour selon les mêmes modalités jusqu'à ce que les deux cellules filles soient parfaitement individualisées.

La division par amitose est très connue chez les amibes, et se produit aussi, de manière différente, dans le macronucléus des Protozoaires Ciliés ou Infusoires. Rappelons que ces organismes possèdent deux noyaux : un micronucléus, qui joue un rôle dans la reproduction et se divise par mitose, et un macronucléus, à rôle nutritif, et qui se divise précisément par voie directe. Les cellules des tumeurs et des cicatrices des animaux supérieurs se divisent aussi par amitose.

L'APPAREIL MITOTIQUE

La mitose, appelée aussi caryocinèse, est un phénomène beaucoup plus complexe que celui que nous venons de décrire. Il intéresse pratiquement toute la cellule du fait que les éléments nucléaires envahissent une bonne partie du cytoplasme. L'appareil mitotique y joue un rôle très important. Cet appareil est un ensemble d'organites cellulaires qui normalement ne sont pas visibles dans la cellule au repos, et qui deviennent observables uniquement au cours de la division cellulaire ; cependant, il a été possible d'observer l'appareil mitotique dans certaines cellules au repos et l'on a pu décrire un certain nombre de structures différenciées. Au centre, on trouve un centriole, ou même très souvent deux centrioles, à tel point que certains auteurs pensent que le double centriole est la règle. Autour du centriole existe une région dite centrosome, entourée à son tour d'une bande plus dense, la centrosphère, d'où se détache une couronne de rayons appelée aster ou astrosphère. La structure du centriole a été minutieusement étudiée au microscope électronique : il apparaît formé d'un petit cylindre vide, doté intérieurement d'une paroi très épaisse, où l'on reconnaît de nombreux tubules de dimensions fort réduites, unis entre eux par paires ou par triplets.

LA MITOSE

*Avant de décrire schématiquement les différentes phases de la division mitotique, rappelons brièvement le processus très important de la duplication de l'*ADN *(acide désoxyribo-nucléique) des chromosomes, phénomène qui se produit pendant l'interphase, c'est-à-dire lorsque la cellule est au repos.*

Il est facile de comprendre que si l'ADN contenu dans les chromosomes ne subissait pas cette duplication avant la division cellulaire, les cellules filles seraient porteuses de chromosomes contenant la moitié de l'ADN ou bien la moitié du nombre initial de chromosomes ; dans un


G.S. Giacomelli

Un très petit fragment, ne comprenant que six cellules, de l'extrémité végétative de l'ail : les principales phases de la mitose sont nettement visibles.

cas comme dans l'autre, ils ne seraient pas identiques à ceux de la cellule mère. Si une division de ce type se perpétuait, la quantité d'ADN diminuerait en l'espace de quelques reproductions, ce qui serait tout à fait contraire à l'équilibre caractéristique des processus naturels.

La molécule d'ADN se fissure longitudinalement en deux parties, dont chacune reconstitue l'autre moitié de la molécule non pas identiquement à elle-même mais à la moitié qui s'est détachée, de telle manière que les deux nouvelles molécules sont parfaitement identiques à la molécule initiale.

Donc, au début de la division cellulaire, chaque chromosome contient un nombre double de filaments d'ADN. On peut schématiquement reconnaître dans la mitose cinq, ou, selon certains auteurs, quatre phases : la prophase, la métaphase, l'anaphase et la télophase.

Au cours de la prophase, *les chromosomes, tout en demeurant encore à l'intérieur du noyau, qui conserve sa membrane et sa structure, commencent à devenir visibles sous forme de longs filaments enchevêtrés, qui s'individualisent lentement et se raccourcissent par spiralisation. A ce moment, chaque chromosome est formé de deux parties non encore visibles, les deux chromatides. Chacune de ces parties contient une quantité d'ADN égale à celle d'un chromosome normal interphasique ; il convient en effet de se rappeler que la duplication de l'ADN s'est déjà produite et que, de ce fait, chaque chromosome en porte une quantité double. Au cours de la* métaphase, *le nucléole est encore visible, et les centrioles, qui, s'étant préalablement dédoublés, sont maintenant au nombre de quatre, migrent par paires vers les pôles de la cellule.*

Dans un premier temps, le nucléole et la membrane nucléaire disparaissent, tandis que les centrioles, qui se trouvent aux pôles opposés de la cellule, sont reliés par les fibres du fuseau mitotique, *c'est-à-dire par de minces fibrilles qui s'étirent par paires ou par groupes d'un centriole à l'autre, ou d'un centriole aux chromosomes, donnant lieu à la formation d'une figure fusiforme, à l'intérieur de laquelle le cytoplasme apparaît clair et dépourvu de mitochondries. Les chromosomes sont alors bien individualisés et se disposent de manière ordonnée autour des fibres du fuseau mitotique.*

Puis les centrioles ainsi que les fibres du fuseau deviennent nettement visibles tandis que les chromosomes se disposent tous sur un plan médian perpendiculaire à la ligne joignant les deux centrioles ; leur centromère (c'est-à-dire le sommet de l'angle que forme chacun), relié aux centrioles par les fibres chromosomiques, est tourné vers le centre du fuseau mitotique et les télomères (autrement dit leurs parties terminales) vers l'extérieur.

La figure caractéristique qui résulte de cette disposition des chromosomes est appelée plaque équatoriale ; *du point de vue expérimental, elle revêt une grande importance, car en observant la cellule de l'un des deux pôles au cours de la métaphase, on peut examiner parfaitement les chromosomes afin d'en connaître la forme et le nombre. Ces deux éléments sont très importants tant pour la classification de l'individu à qui appartient la cellule examinée, que pour la découverte d'éventuelles anomalies, c'est-à-dire de la présence de chromosomes en surnombre ou ayant une forme aberrante, comme cela se produit, par exemple, dans les cas de mongolisme, chez l'homme.*

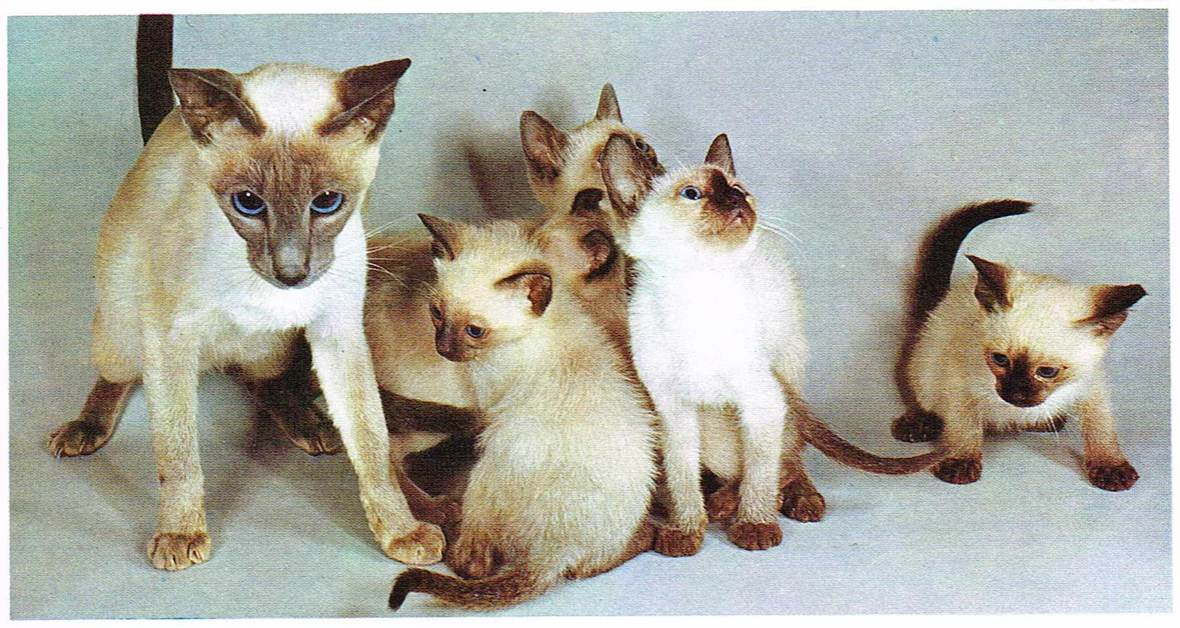
*La métaphase s'achève lorsque les centromères des chromosomes, qui se sont déjà dédoublés au cours de l'interphase, commencent à se séparer. L'*anaphase *débute lorsque les deux centromères sont nettement séparés. A ce moment, le chromosome tout entier commence à se scinder dans le sens longitudinal depuis le centromère jusqu'au télomère, jusqu'à ce que les deux chromatides, transformées maintenant en véritables chromosomes, soient devenues totalement indépendantes l'une de l'autre. Les fibres du fuseau commencent alors à se raccourcir, entraînant vers le centriole les chromosomes fils, attachés par leur centromère aux fibres chromosomiques ; de la sorte, une moitié de chacun des chromosomes existant dans la cellule avant la division va vers un pôle, l'autre moitié vers le pôle opposé de la cellule.*

C'est alors que commence la télophase, *au cours de laquelle se produit la division du cytoplasme au niveau du plan médian, appelé plan équatorial. Pendant que se produit, avec une certaine lenteur, ce phénomène de division du cytoplasme, les chromosomes, situés toujours à proximité des centrioles où ils ont migré durant l'anaphase, se despiralisent, deviennent longs et minces et s'enchevêtrent les uns avec les autres au point de perdre leur identité propre, tandis qu'autour d'eux se forme une membrane nucléaire et que le nucléole réapparaît ; pendant ce temps, les centrioles reprennent l'aspect d'appareils mitotiques, tel que nous l'avons décrit plus haut. Après la division totale du cytoplasme, les deux cellules filles peuvent être considérées comme achevées et leur noyau présente exactement l'aspect du noyau normal interphasique.*

Selon la nature du tissu, les cellules qui se sont ainsi formées peuvent présenter une nouvelle duplication de l'ADN et amorcer une nouvelle mitose, ou bien élaborer des substances de nature diverse, comme la sécrétion des cellules glandulaires. Quant aux causes qui, à un moment donné, conduisent une cellule à la duplication de son ADN et à sa scission, aucune des nombreuses hypothèses formulées par les chercheurs ne s'est révélée satisfaisante : les unes soutiennent que le phénomène de la duplication de l'ADN est sans motif, les autres attribuent le phénomène de division à l'augmentation excessive du volume de la cellule sans une augmentation corrélative de sa surface.

GÉNÉTIQUE ET CARACTÈRES HÉRÉDITAIRES

I.G.D.A.- C. Dani



D'après la loi de la transmission des caractères héréditaires, les descendants conservent les caractéristiques des géniteurs. On voit, ci-dessus, une portée de chatons siamois, tous remarquablement semblables à leur mère.

Après avoir démontré l'absence de tout fondement à la théorie de la génération spontanée, même pour les êtres les plus simples, les savants qui soutenaient que tout être vivant est engendré par un être semblable se trouvèrent devant l'immense problème de la détermination des règles de transmission des caractères héréditaires. Il était certes évident qu'un chat donne naissance à un chat, une fourmi à une fourmi, un couple de chats siamois à un chat siamois, des parents blonds à un enfant blond (sauf exceptions).

Mais le nombre très élevé des caractères transmissibles par les géniteurs à leurs « produits » et la constatation du fait que la transmission peut s'opérer en sautant une ou plusieurs générations imposaient une analyse très minutieuse des lois de l'hérédité, analyse qui se révéla dès le début extrêmement difficile.

La génétique, science qui étudie les règles de la transmission des caractères héréditaires, reconnaît à juste titre pour père le moine autrichien Gregor Mendel (1822-1884), premier savant qui se consacra activement à cette branche de la biologie.

LES LOIS DE MENDEL

Mendel découvrit les trois lois fondamentales de la génétique et c'est sur la base de ces lois que tous les autres savants fondèrent leurs recherches, ce qui aboutit à une connaissance de plus en plus précise du mécanisme de l'hérédité.

Mendel opéra selon une méthode entièrement expérimentale sur des variétés de pois présentant au plus haut degré le pouvoir de se croiser entre elles : elles ne différaient les unes des autres que par un petit nombre de caractères bien apparents. Il décida de croiser opportunément ces variétés et limita au début son étude à un seul caractère, afin de déterminer le mécanisme de transmission aux générations successives.

Il réalisa donc l'hybridation d'un pied de pois à fleurs blanches avec un pied à fleurs rouges et obtint, à la première génération (F_1), des plantes possédant toutes des fleurs rouges : c'est la loi de l'uniformité des hybrides de la première génération.

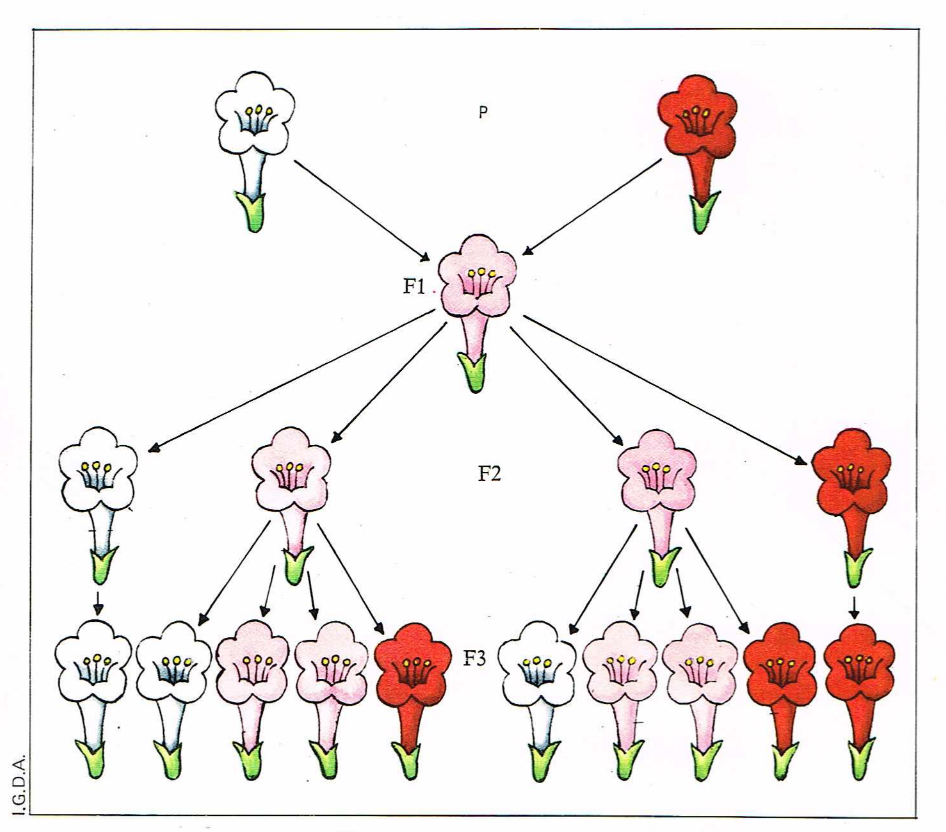
Ceux-ci, croisés à leur tour entre eux, produisirent (F_2) 25 % de pieds à fleurs blanches et 75 % de pieds à fleurs rouges : en fait, les 2/3 de ces 75 % possèdent, à l'état « caché », le caractère blanc ; il en était de même des F_1.

Mendel réalisa également un grand nombre d'autres expériences portant sur d'autres caractères (pois à grains lisses ou ridés, jaunes ou verts) et parvint à la conclusion générale que, dans chaque couple de caractères appelés allèles, l'un des deux est dominant, c'est-à-dire qu'il apparaît chez tous les hybrides de première génération, « masquant » l'autre caractère caché, récessif, qui réapparaît cependant chez 25 % des individus de la deuxième génération.

La troisième loi de Mendel concerne la ségrégation des gènes ; ces derniers, qui sont les parties des chromosomes supportant les caractères héréditaires, n'étaient pas connus de Mendel, qui en devina seulement la présence. Chaque couple de caractères allèles est formé de deux gènes qui siègent sur chacun des chromosomes homologues. Le nombre des caractères transmissibles est très élevé : certains n'apparaissent pas extérieurement chez l'individu, car, étant récessifs, ils sont effacés par le caractère dominant normal.

La loi de la ségrégation des gènes définit la possibilité que possède un caractère de se transmettre comme caractère pur, indépendamment des autres. Ainsi, Mendel, en croisant des pois à fleurs blanches avec des pois à fleurs rouges, obtint à la première génération des hybrides rouges et aucune fleur de teinte intermédiaire, et, à la deuxième génération, des fleurs rouges et blanches dans un rapport défini.

Cependant, dans certains cas, on peut avoir une première génération d'hybrides de couleur intermédiaire ; par exemple, en croisant des mufliers (ou gueules-de-loup) rouges avec des mufliers blancs, on obtient à la génération



Ci-dessus : illustration d'une des lois de Mendel par l'hybridation des fleurs de belles-de-nuit *(Mirabilis jalapa)*; p, individus originels; F_1, F_2, F_3, trois générations d'hybrides.

F_1 uniquement des fleurs roses, tandis qu'à la génération F_2 on a 25 % de fleurs rouges, 50 % de fleurs roses et 25 % de fleurs blanches; cela se produit non en contradiction avec la loi de ségrégation des gènes, mais en raison de l'absence de dominance de l'un ou l'autre des gènes.

Les trois lois de Mendel constituent, comme nous l'avons dit, les bases de la génétique moderne; voici maintenant un rappel sommaire de quelques données mises en évidence par les théories les plus récentes et qui illustrent le mécanisme de transmission d'un gène.

Chez l'homme, on le sait, chaque cellule comprend 44 chromosomes répartis en paires identiques, et deux autres chromosomes, les chromosomes sexuels, identiques chez les filles (XX), et différents chez les garçons (XY). Sur chaque paire de chromosomes homologues, il existe des couples de gènes, dont chacun est porteur d'un caractère donné. En réalité, le phénomène est beaucoup plus complexe que ne l'indique notre exposé élémentaire, mais il est utile de raisonner sur un schéma simplifié, plus facile à appliquer aux différents cas, tout en étant assez proche de la réalité.

TRANSMISSION DE GÈNES NORMAUX

Si l'on prend en guise d'exemple la couleur des yeux, nous aurons deux gènes, dont un qui détermine la couleur foncée de l'iris, et que nous désignerons par la lettre A; celui-ci est dominant par rapport au gène a, récessif, qui détermine la couleur claire de l'iris. Si chacun des deux chromosomes homologues comporte un gène A, l'individu sera homozygote AA et aura des yeux foncés; si, au contraire, on est en présence de deux gènes aa, l'individu sera encore homozygote pour le caractère récessif et aura les yeux clairs.

Dans le cas de l'individu possédant un gène A et un gène a, nous aurons un hétérozygote aux yeux foncés, car la couleur foncée est dominante, mais il pourra transmettre à ses descendants le gène a caractéristique des yeux clairs.

Lors de la formation dans l'organisme des cellules sexuelles, contenant chacune la moitié (n) *des chromosomes des cellules ordinaires* (2 n), *les deux chromosomes homologues se séparent et par conséquent chacun des gamètes ne conserve qu'un seul des deux gènes détenus par l'individu. Si les parents sont tous les deux AA, on aura nécessairement des gamètes et, bien sûr, des enfants AA ; ce même phénomène se produit évidemment aussi dans le cas de parents tous les deux aa.*

Si, à l'inverse, un des parents est AA et l'autre aa, les gamètes qui s'uniront porteront chacun un gène différent et les enfants seront tous hétérozygotes Aa.

Les cas les plus intéressants s'observent à la deuxième génération. En effet, si un individu Aa s'unit à un autre individu Aa, tous les deux aux yeux sombres, mais porteurs du gène a, on aura 25 % d'enfants aux yeux clairs, issus de la rencontre des gamètes a, 25 % d'enfants aux yeux sombres AA et enfin 50 % d'enfants Aa, qui seront eux aussi hétérozygotes.

En revanche, si le parent Aa s'unit avec un homozygote aa, 50 % des enfants seront Aa, et les 50 % restants aa ; si ce même parent Aa est couplé avec un homozygote AA, on aura 50 % d'enfants Aa et 50 % AA. On appelle génotype la garniture chromosomique d'un individu et phénotype l'aspect extérieur de celui-ci.

Sur ce mécanisme de base interfèrent des phénomènes d'interaction entre gènes de dominance incomplète ou bien des phénomènes liés au fait que les caractères sont déterminés par deux ou plusieurs couples de gènes; cela explique l'apparition de toutes les formes intermédiaires (yeux gris, verts, marron), toujours conformément à la loi de la ségrégation des gènes.

LES GÈNES LÉTAUX ET LES MUTATIONS

C'est d'après ce même mécanisme que se transmettent aussi de nombreuses maladies de caractère héréditaire, comme la thalassémie ou maladie de Cooley, qui intéresse les globules rouges : les individus sains ont, pour ce gène, le génotype homozygote TT, tandis que les individus tt ne sont pas viables et meurent dans la première enfance. Les individus hétérozygotes Tt, le gène T des globules rouges normaux étant dominant, seront en parfaite santé, mais ils pourront avoir des enfants non viables de l'union avec un autre individu Tt.

Il existe aussi des gènes « sublétaux », comme le gène du rétinoblastome, une maladie des yeux, qui est dominant et provoque la maladie, presque toujours mortelle, chez les individus hétérozygotes Aa ; les individus normaux présentent le génotype aa. L'apparition d'un gène létal dominant est due à une mutation, c'est-à-dire à la transformation qui se produit dans le chromosome au niveau du gène considéré. Ces transformations sont toujours très complexes et souvent insuffisamment élucidées : elles peuvent être dues à des causes internes ou à des facteurs externes. On sait, par exemple, que les rayons X et les rayons ultraviolets sont responsables de mutations, bien qu'on ne puisse encore préciser la nature et l'importance de ce phénomène.

L'HÉRÉDITÉ LIÉE AU SEXE

L'étude de la transmission des gènes qui siègent sur les chromosomes sexuels est très importante en génétique. Étant donné que le sexe de l'homme est déterminé par la présence de deux hétérochromosomes (un chromosome X et un chromosome Y), tandis que chez la femme les deux chromosomes sont identiques XX, il est évident qu'un gène situé sur le chromosome Y sera transmis uniquement aux mâles, alors qu'un gène porté par le chromosome X ne sera représenté qu'une seule fois chez les mâles.

Ce mécanisme se complique du fait que le père transmet le chromosome X aux filles et le chromosome Y aux garçons, tandis que la mère transmet un chromosome X tant aux garçons qu'aux filles.

Ainsi, dans le cas du gène du daltonisme, qui se trouve sur le chromosome X, toutes les filles seront porteuses de ce gène à l'état hétérozygote Dd si le père est daltonien, tandis que tous les garçons seront sains; si, au contraire, c'est la mère qui est daltonienne, tous les garçons seront daltoniens (du fait qu'ils possèdent un seul gène d sur le chromosome X) et toutes les filles hétérozygotes Dd.

LES MUTATIONS

Archives P2



Les enfants aux yeux bleus naissent de deux individus qui portent tous les deux le gène « yeux bleus ».

Lors de la reproduction cellulaire, chaque chromosome du noyau se divise en deux et, de ce fait, chacun des gènes qu'il porte reproduit exactement une réplique de lui-même destinée au chromosome en voie de formation. Dans la plupart des cas, ces copies sont parfaitement identiques au gène originel; cependant, il peut arriver que, sous l'influence de facteurs externes ou internes, un gène ne produise pas une copie parfaitement identique et que des différences apparaissent par rapport au modèle.

Ce phénomène, extrêmement important en génétique, prend le nom de mutation génique; il peut survenir dans n'importe quelle cellule en voie de reproduction, dans un organisme animal ou végétal, et à n'importe quel stade de développement.

Outre les mutations géniques, qui peuvent intéresser un ou plusieurs gènes, toujours isolément considérés, il existe aussi des mutations chromosomiques qui intéressent un chromosome tout entier; en effet, il arrive qu'un chromosome, au lieu de se diviser en deux, subisse un processus de « triplication », qui engendre trois chromosomes; il peut arriver aussi que la duplication ne se produise pas du tout, ou qu'un chromosome perde une de ses parties ou même qu'il échange une partie avec un autre chromosome.

Ces différents cas ne sont cités qu'à titre d'exemple, car ils sortent du sujet que nous nous proposons de traiter ici : les mutations géniques proprement dites.

Comme nous l'avons dit, une mutation génique peut survenir à tout moment de la vie d'un organisme et dans toute cellule capable de se reproduire; les cellules nerveuses d'un homme adulte, qui ont perdu la faculté de se reproduire, ne sont pas susceptibles de présenter un tel phénomène, à moins que n'apparaisse un état pathologique ou une stimulation externe particulière imposant à la cellule une mitose forcée.

L'examen des différents cas dans lesquels une mutation peut se produire nous montre que celle-ci peut intéresser n'importe quelle cellule somatique, c'est-à-dire non génitale; dans ce cas, les cellules qui dériveront de celle-ci par mitoses (ou divisions) successives, présenteront le nouveau caractère. Il en est ainsi d'une tache de couleur différente sur le pétale d'une fleur, phénomène constaté fréquemment.

La mutation peut intéresser aussi une cellule embryonnaire : dans ce cas, toute la partie de l'organisme issue de cette cellule portera le caractère mutant; un tel individu est dit « mosaïque », en raison de l'hétérogénéité de son lot de chromosomes (génotype).

Les plus importantes des mutations sont celles qui surviennent chez le gamète mûr, c'est-à-dire le spermatozoïde ou l'ovule. Si la mutation est compatible avec la vie, le gamète engendrera un être qui présentera un gène mutant dans toutes ses cellules.

Si le gène mutant est récessif par rapport au gène normal, l'individu qui naîtra sera extérieurement normal et le caractère mutant restera latent; à l'inverse, si le caractère mutant est dominant, l'anomalie sera apparente chez le nouveau-né. Le problème de la dominance ou de la récessivité d'un gène mériterait un certain développement; nous nous contenterons de rappeler brièvement le cas d'une mutation survenue en Angleterre, vers la fin du dix-huitième siècle, dans un troupeau de brebis : le berger Seth Wright constata qu'un couple d'ovins parfaitement normaux avaient donné naissance à un agneau curieux, présentant des pattes très courtes et tordues, mais par ailleurs parfaitement sain. Cet agneau fut utilisé comme reproducteur et tous les petits engendrés par lui conservèrent ce même caractère singulier, considéré comme très intéressant par les bergers car ces ovins étaient incapables de s'enfuir en sautant par-dessus les enceintes en pierre qui étaient alors en usage.

LES MUTATIONS CHEZ L'HOMME

Chez l'homme aussi, des mutations apparaissent avec une certaine fréquence; il est évident que dans ce domaine il n'est pas possible de se servir de certains moyens d'étude utilisés habituellement chez les animaux ou les végétaux, parmi lesquels, très important, le croisement entre frères et sœurs, qui permet de mettre en évidence les caractères récessifs.

En raison de cette impossibilité de procéder par voie expérimentale dans le cas de l'homme, les mutations ne peuvent être observées que lorsqu'elles surviennent spontanément, c'est-à-dire dans les deux cas généraux de gènes dominants qui provoquent des anomalies graves ou des maladies héréditaires, ou bien dans le cas de gènes récessifs qui se manifestent lorsque des enfants naissent de deux individus qui portent tous les deux un gène mutant, par exemple celui de l'albinisme; dans ce cas, le gène mutant apparaîtra chez 25 % des enfants.

A propos de l'albinisme, rappelons qu'il s'agit d'une mutation génique entraînant pour l'individu la perte de la capacité de synthétiser la mélanine, pigment responsable de la coloration de la peau, des yeux, des cheveux. Cette mutation apparaît spontanément avec une fréquence de l'ordre de 28 par million de gamètes chez les individus issus de parents normalement pigmentés; sa transmission héréditaire s'opère comme pour un gène récessif normal. D'autres mutations également récessives sont la cécité totale pour les couleurs, dont le taux de fréquence est toujours de 28 par million, l'idiotie amaurotique infantile et l'ichtyose (11 par million) et la microphtalmie (15 par million).

Parmi les mutations dominantes que l'on rencontre chez l'homme, les plus connues sont l'achondroplasie, une sorte de nanisme non létal (42 cas par million de gamètes), l'anomalie de Pelger (80 cas), l'aniridie (5 cas), le rétinoblastome (semi-létal, 23 cas).

L'hémophilie, enfin, est une mutation récessive fort connue, liée au sexe et portée par le chromosome X : elle provoque l'incoagulabilité du sang exposé à l'air. Cette maladie apparaît chez les individus mâles, chez lesquels la présence d'un seul chromosome X permet au gène de se manifester, bien qu'il soit récessif.

LES MUTATIONS PROVOQUÉES

En 1927, Muller, étudiant la possibilité de provoquer artificiellement des mutations géniques, nota que quelques Insectes, les drosophiles ou mouches du vinaigre, présentaient, après irradiation par les rayons X, des mutations avec une fréquence beaucoup plus élevée que les sujets non irradiés. A la suite de cette expérience et d'expériences ultérieures, on put attribuer aux rayons X et à d'autres rayonnements ionisants un grand pouvoir en tant qu'agents « mutagènes ».

Altenburg observa que les rayons ultraviolets avaient la même action, mais elle est cependant limitée par leur faible pénétration, surtout chez les animaux; en revanche, leur pouvoir est important sur les grains de pollen, beaucoup plus exposés.

Diverses substances chimiques peuvent avoir aussi une action mutagène : par exemple l'ypérite, l'éthylméthane, et même la formaldéhyde, douée de pouvoir mutagène chez la drosophile par voie orale mais non par injection.

MUTATIONS, ÉVOLUTION, SÉLECTION

Les mutations ont une très grande importance biologique. Pour beaucoup de spécialistes, elles sont le « moteur » unique de l'évolution. Pour d'autres, elles sont insuffisantes, et ils citent en exemple des organismes, comme la drosophile, qui mutent beaucoup sans vraiment évoluer, parce que les mutations brassent des caractères sans en apporter de nouveaux. Dans cette optique, la formation de nouveaux gènes serait nécessaire à l'évolution.

De plus, dans les conditions naturelles, les mutations ont peu de chances de persister : le mutant, étant le plus souvent unique, doit fatalement s'accoupler avec un sujet normal : si le caractère apparu est récessif, il risque de disparaître.

Tout autres sont les conditions de vie des plantes cultivées et des animaux domestiques : l'homme peut avoir avantage à conserver des mutations à intérêt économique, ornemental ou autre. Pour cela, il croise entre eux des individus atteints de la mutation. C'est ainsi qu'ont survécu jusqu'à notre époque le teckel, la poule à cou nu, le pigeon culbutant, le poisson rouge queue-de-voile, etc.

Ces animaux n'auraient aucune chance de persister à l'état sauvage. Alors que la sélection naturelle entraîne la survivance du plus apte, la sélection artificielle provoque souvent la survivance du plus inapte.

L'EMBRYON

Tout être vivant à nombreuses cellules, qu'il soit animal ou végétal, dérive d'une cellule unique, issue de l'union de deux cellules sexuelles ou gamètes, le spermatozoïde, mâle, et l'ovule, femelle ; cette cellule initiale est appelée œuf ou zygote. Il existe donc nécessairement une période plus ou moins longue, durant laquelle ce zygote se divise et s'accroît pour former les structures qui permettront au nouvel être de vivre dans le milieu extérieur et de posséder les caractéristiques externes et internes de son espèce.

Cette période, qui correspond au développement embryonnaire, s'appelle l'embryogenèse (ou ontogenèse). Elle diffère de manière très importante d'un groupe à un autre ; cependant, le schéma de base du développement embryonnaire des êtres les plus divers se présente essentiellement de manière uniforme.

Observons tout d'abord les stades de développement des végétaux, en prenant comme exemple un végétal supérieur, comme un pommier ou un poirier. Nous constaterons que le zygote commence par se segmenter : dans l'embryon pluricellulaire ainsi formé, on peut distinguer différents groupes de cellules. Chacun donnera naissance à un organe de la future plante. Cet embryon se trouve dans la graine ; pour germer, c'est-à-dire pour achever son développement et donner naissance à la plante, il faut qu'il soit placé dans un milieu favorable.

L'existence d'une période de vie latente entre la maturation de la graine, c'est-à-dire entre le moment où la graine est prête à germer si on la place dans le sol, et le moment où elle se retrouve dans la terre, n'est pas typique des végétaux, mais s'observe aussi chez les animaux. En effet, si l'on rencontre des végétaux dont la graine à peine mûre germe à l'intérieur de l'ovaire de la fleur, on connaît, à l'inverse, certains animaux, notamment des Mollusques, dont la larve, qui n'est autre chose qu'un embryon particulier vivant à l'état libre, continue à errer dans la mer pendant des périodes de durée variable, et ne se fixe qu'après avoir trouvé un substrat parfaitement adapté à sa vie : elle prend alors sa forme adulte et édifie sa coquille.

LE DÉVELOPPEMENT EMBRYONNAIRE CHEZ LES ANIMAUX

Avant d'aborder une description plus détaillée de l'embryogenèse animale, précisons qu'il n'existe pas d'animal dont le développement embryonnaire puisse fournir un exemple susceptible de s'appliquer à tous les autres organismes.

Dans tous les cas, ce que nous avons dit à propos du développement embryonnaire végétal demeure valable pour le développement animal, qui comprend schématiquement quatre stades : 1) division du zygote ; 2) segmentation ultérieure des deux cellules filles pour former un ensemble géométrique de cellules, dont chacune est déjà destinée à donner naissance à un organe donné ou à un groupe d'organes ; 3) migration des cellules qui prennent, les unes par rapport aux autres, la disposition qu'elles auront dans l'organe qui en résultera ; 4) mitoses (c'est-à-dire divisions) successives et formation des différents tissus, jusqu'à ce que tous les organes et l'embryon lui-même soient complètement formés et prêts à voir le jour.

Ces quatre stades sont appelés : segmentation, gastrulation, organogenèse et histogenèse.

Avant d'entreprendre la description des principaux stades du développement embryonnaire des Mammifères, précisons encore qu'un grand nombre d'animaux n'offrent pas à la naissance le même aspect qu'ils auront à l'âge adulte. C'est le cas de la grenouille qui naît sous forme de têtard, des papillons qui naissent sous forme de chenilles multicolores, et de beaucoup d'autres animaux qui connaissent un état de vie larvaire avant de devenir adultes.

Les larves, comme nous l'avons dit, peuvent être comparées à des embryons particuliers, capables de vivre dans le milieu extérieur et d'en tirer les aliments nécessaires à leur développement.

Chez les organismes larvaires, on observe une période de développement embryonnaire proprement dit, de

C. Bevilacqua



Groupe d'œufs d'amphioxus vus à fort grossissement.

courte durée, qui se déroule à l'intérieur de l'œuf, d'où sortira un organisme encore nettement rudimentaire; celui-ci se nourrit assez activement et, après un certain temps, se transforme en adulte à la suite d'une métamorphose, qui peut être rapide ou progressive, au cours de laquelle se produit une sorte de dégénérescence de nombreux tissus larvaires (histolyse), suivie de la formation d'autres tissus et, avant tout, des organes reproducteurs. Les animaux dont nous traiterons ne présentent pas de stade larvaire et connaissent un développement direct.

Dans l'œuf d'un Mammifère, après la première division du zygote, les cellules filles se divisent à leur tour en quatre cellules, dites blastomères*; celles-ci entrent rapidement en mitose pour former d'autres blastomères semblables, jusqu'à atteindre le stade de la* morula*, cette dernière étant constituée d'un amas à peu près sphérique de cellules assez semblables, qui la fait ressembler à une petite mûre, d'où son nom.*

On assiste ensuite à la formation d'une cavité centrale, appelée blastocèle*, due au fait que les cellules s'éloignent progressivement du centre de la sphère tout en continuant de se multiplier; l'embryon prend alors le nom de* blastula *et la paroi de cellules, disposées maintenant en une seule couche, qui entoure la cavité prend le nom de* blastoderme.

LA FORMATION DES ORGANES

Après la formation de la blastula, commence le processus très important de la gastrulation*, au terme duquel la paroi, formée d'un seul feuillet de cellules, se trouvera doublée d'un deuxième feuillet.*

Le processus de la gastrulation est très simple : un des pôles de la blastula, le pôle végétatif, s'invagine et efface progressivement la cavité du blastocèle, les cellules venant s'adosser contre la partie interne du blastoderme du pôle opposé, le pôle animal.

*Ainsi se forme une sorte de demi-sphère à double paroi, dont les bords libres se rapprochent de plus en plus, délimitant une cavité interne, l'*archentéron*, ou intestin primitif, qui communique avec l'extérieur par une petite ouverture, le* blastopore.

Les deux feuillets, externe et interne, de la gastrula sont appelés respectivement ectoderme primitif et endoderme primitif : ils formeront les deux feuillets définitifs, ectoderme *et* endoderme*, entre lesquels s'interposera ultérieurement un troisième feuillet, le mésoderme, formé par des cellules provenant des deux feuillets primitifs.*

On assiste ensuite à des phénomènes très complexes qui se déroulent au niveau du mésoderme, à l'intérieur duquel se creusent des cavités, tandis que l'embryon s allonge dans le sens antéro-postérieur.

A l'extrémité antérieure apparaît une zone particulière, dite plaque médullaire, qui se déprime pour former la gouttière médullaire, puis le canal médullaire qui contient la moelle épinière. Sous la face ventrale de ces formations s'édifie la corde dorsale, ébauche de la colonne vertébrale. A ce stade, l'intestin, situé ventralement, est cylindrique et présente une large cavité; à côté de lui on trouve les somites, massifs qui résultent de la division du mésoderme.

A partir de ce stade, la formation des organes suit un processus qu'il serait trop long d'expliquer; précisons simplement que l'extrémité céphalique de la moelle épinière s'élargit et forme l'encéphale, tandis que de la partie restante de la moelle épinière se détachent les nerfs spinaux. L'intestin primitif se développe jusqu'à former l'appareil digestif et ses glandes annexes; à l'intérieur du mésoderme se creusent des petits cordons d'où proviendront les vaisseaux sanguins et le cœur, qui est tout simplement un vaisseau profondément modifié. A partir des somites se formeront tous les muscles.

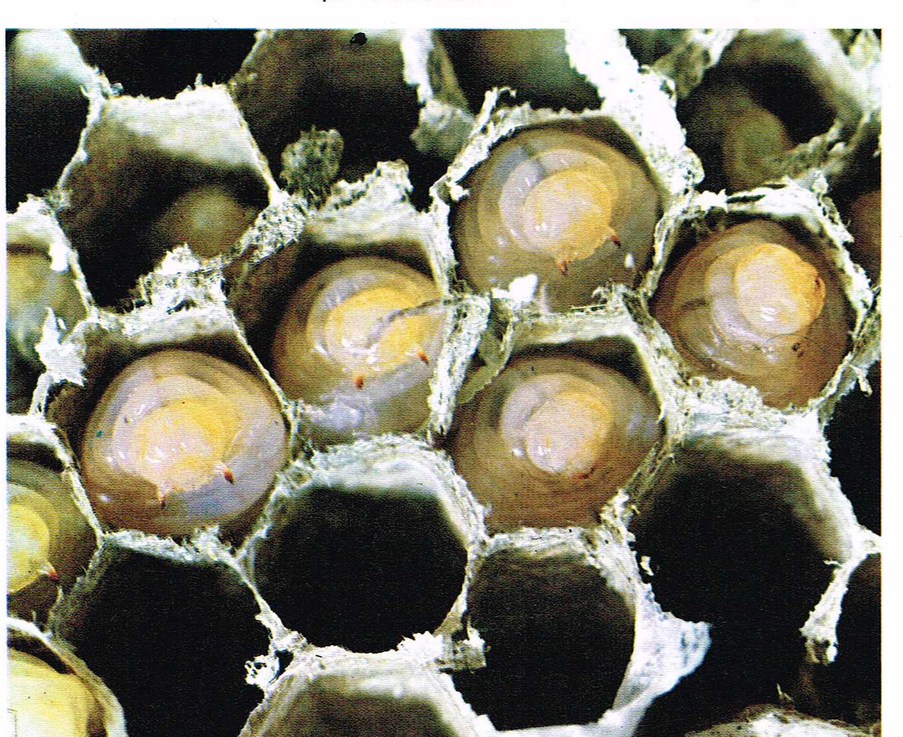
Une fois tous les organes parfaitement formés et les poumons prêts à fonctionner, le fœtus quitte le milieu utérin et affronte le milieu extérieur. Dès la première respiration, les poumons, jusque-là flasques, se gonflent, et très rapidement l'individu pourra se nourrir de manière autonome.

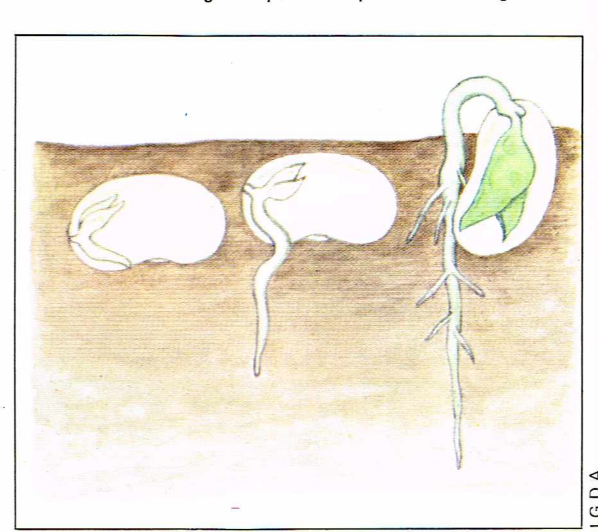
Nous citerons, pour conclure, quelques études concernant le développement embryonnaire; l'une des plus importantes, relative à la capacité de régulation de l'œuf fécondé, s'appuie sur des expériences tendant à élucider la question de l'homogénéité de l'œuf. Si l'œuf est homogène, le fait d'en enlever une partie avant le début du développement devrait laisser intactes les possibilités de constitution d'un individu entier; si, au contraire, il n'est pas homogène, l'ablation d'une partie devrait aboutir au défaut de formation des organes correspondant à la partie enlevée.

Les résultats diffèrent selon l'animal considéré : les œufs de Mammifères se sont révélés capables de régulation, c'est-à-dire capables, bien que mutilés, d'aboutir à la formation d'un embryon entier.

L'un des aspects les plus curieux et les plus intéressants de l'embryogenèse est que celle-ci rappelle l'évolution passée de l'espèce en question. Ainsi, l'embryon humain a des caractères de Poisson. C'est ce que l'on appelle la loi biogénétique fondamentale, qui se traduit par la formule : l'embryogenèse récapitule la phylogenèse.

Il ne faut certes pas trop généraliser cette loi, mais elle est néanmoins un guide précieux pour les biologistes.


D. Giussani


I.G.D.A.

A gauche, détail d'un nid souterrain de guêpe; chaque alvéole contient une larve, c'est-à-dire un organisme issu de l'œuf, au moment des premières phases de développement.
A droite, trois étapes de la germination d'une graine de haricot; on a enlevé un des cotylédons pour rendre visibles les parties de l'embryon. Celui-ci est une plantule en miniature dans laquelle on distingue une radicule (la future racine) et une plumule (le futur bourgeon terminal).

LES GAMÈTES

Tous les êtres vivants, ou presque, proviennent chacun d'un œuf. Celui-ci, encore appelé zygote, est une cellule qui se divisera pour en donner deux, puis quatre, etc., jusqu'à reconstituer un individu entier de l'espèce en cause : c'est l'embryogenèse, que nous avons décrite dans le précédent article. Par malheur, le terme d'œuf est aussi donné à la formation pondue par beaucoup d'animaux, et qui contient un embryon développé.

L'œuf véritable provient de la fusion de deux cellules génitales, l'une mâle et l'autre femelle, qui s'unissent au cours d'un processus appelé fécondation. Celle-ci peut se dérouler dans les voies génitales de la femelle, lors d'un accouplement ou copulation : c'est la fécondation interne, de règle chez les Mammifères, les Oiseaux, les Insectes, etc. Chez les groupes aquatiques au contraire, la fécondation est externe et a lieu dans l'eau. Le principe est identique, quoique selon des modalités très différentes chez les végétaux, comme nous le verrons.

Les cellules génitales portent le nom de gamètes. Le gamète femelle est l'ovule (souvent improprement appelé œuf), cellule de forme arrondie. Le gamète mâle est le spermatozoïde.

Chez la plupart des animaux, le spermatozoïde possède une « tête » (en fait son noyau) suivie d'une « queue », long filament (plus exactement un flagelle) qui lui permet de se déplacer à une grande vitesse. Les spermatozoïdes sont en effet contenus dans un liquide, le sperme ou semence (laitance des Poissons), où ils abondent. Il existe aussi des spermatozoïdes sans flagelle chez certains vers (némathelminthes), des Arthropodes, etc.

Les végétaux aussi, depuis les plus simples jusqu'aux plus complets, parvenus à la période de reproduction, produisent des gamètes, à savoir des oosphères (femelles) et des anthérozoïdes (mâles). Les premières sont contenues dans un organe femelle, appelé archégone chez les Mousses ou les Fougères, et ovaires chez les plantes à fleurs, les autres dans un organe mâle, appelé anthéridie chez la Fougère mâle, et anthère chez les plantes supérieures ; dans cet organe se forme le pollen des fleurs.

La présence de cellules reproductrices ne fut décelée avec certitude que grâce au microscope. Les premiers savants qui observèrent ces cellules se divisèrent bientôt en deux camps : ceux du premier groupe, les « ovistes », affirmaient que tout le matériel nécessaire à la reproduction se trouvait dans l'œuf et que la fonction du spermatozoïde se limitait à l'activation de l'œuf, qui, ainsi stimulé, entamait son développement ; les représentants du deuxième groupe, les « animalculistes », appelés ainsi du terme d' « animalculus » attribué au spermatozoïde à cause de ses mouvements visibles au microscope, soutenaient au contraire que tout le matériel héréditaire était porté par le spermatozoïde, auquel l'œuf ne fournissait que les éléments nutritifs nécessaires à son développement.

En 1694, un savant, dont l'imagination devait être au moins égale à son amour de la science, crut reconnaître dans la tête, c'est-à-dire dans la partie renflée d'un spermatozoïde, l'image d'un homme pelotonné, qu'il s'empressa de baptiser « homunculus ». Bien entendu, cette découverte inespérée donna une nouvelle vigueur à la cote des animalculistes. De leur côté, les ovistes ne désarmèrent pas et s'empressèrent de découvrir à leur tour cet imaginaire « homunculus », non dans le spermatozoïde, mais dans l'ovule, et accusèrent les animalculistes de s'être lourdement trompés en prenant une structure insignifiante du spermatozoïde pour l' « homunculus » de l'œuf ; la dispute ainsi rebondissait.

Le perfectionnement ultérieur des microscopes balaya ces hypothèses fantaisistes et permit de démontrer l'inexistence de ce prétendu « homunculus ». On en vint ainsi à la conclusion exacte que ni l'œuf ni le spermatozoïde ne sont séparément les dépositaires de tout le matériel héréditaire, mais que l'un et l'autre de ces éléments ne sont que des cellules spécialement élaborées en vue de la reproduction et contribuent dans une égale mesure à la formation du nouvel individu.

Bavestrelli - Bevilacqua - Prato



Ovule dans un ovaire de Mammifère : il s'agit du gamète femelle, dont la fécondation constitue le point de départ du développement d'un nouvel individu (× 250 × 4,5) [coloration de contraste].

LA FORMATION DES GAMÈTES

Chez les êtres unicellaires à reproduction sexuée, tout l'individu subit au moment de la reproduction des transformations appropriées pour devenir un gamète apte à



Nid de merle noir *(Turdus merula)*. L'œuf résulte de l'union d'un gamète femelle (ovule) et d'un gamète mâle (spermatozoïde).

s'unir avec un autre gamète de la même espèce, identique à lui-même (isogamie), ou différent (hétérogamie), selon les espèces considérées.

En revanche, chez les êtres pluricellulaires, il faut se rappeler qu'il existe des cellules somatiques, qui constituent le corps de l'individu, et des cellules germinales, contenues dans des organes spéciaux, destinées à la reproduction.

La principale différence entre les gamètes et les cellules somatiques réside dans le nombre différent de chromosomes contenus dans leurs noyaux respectifs : en effet, les cellules germinales contiennent la moitié des chromosomes des cellules somatiques; on dit qu'elles ont un nombre « n » de chromosomes et on les appelle « haploïdes ».

On comprend facilement les raisons de cette différence : pour pouvoir donner naissance à un nouvel individu, la cellule germinale doit s'unir à une autre cellule germinale appartenant à un individu de sexe différent; au sommet de la fécondation, les deux cellules se complètent pour former une cellule unique.

Donc, si les deux gamètes étaient porteurs d'un nombre diploïde de chromosomes (2 n), caractéristique des cellules somatiques, l'œuf ou zygote, c'est-à-dire la cellule issue de la fécondation, aurait, par addition des chromosomes des deux gamètes, un équipement « tétraploïde » de « 4 n » chromosomes. Il s'ensuivrait que tout individu issu d'un tel zygote aurait également un équipement tétraploïde. Or, sachant que le nombre de chromosomes est toujours constant pour chaque espèce, on conclut facilement qu'une telle hypothèse ne peut pas se vérifier, car, à chaque génération, le nombre de chromosomes doublerait et on finirait par avoir des individus avec des milliers de chromosomes. De plus, puisque le rapport entre le noyau contenant les chromosomes et le cytoplasme doit demeurer constant, de tels individus seraient formés de cellules énormes, dont les nouvelles dimensions modifieraient complètement toute la structure du corps.

Les Insectes *pronuba* (sur la photo un bourdon) sont les transporteurs naturels des gamètes mâles des phanérogames, c'est-à-dire des grains de pollen des fleurs « entomophiles », fécondateurs des ovules destinés à devenir des graines.



Pour éviter une telle dégénérescence, les cellules germinales présentent, dès le début de leur vie, une division réductionnelle particulière, la méiose, grâce à laquelle le patrimoine diploïde de la cellule mère se divise en deux patrimoines « haploïdes » chez les cellules filles.

Les cellules présentant ce type de division ne sont pas des cellules somatiques indifférenciées, mais bien plutôt des cellules spéciales qui, dès les premières divisions de l'œuf fécondé, migrent dans les organes destinés à les recevoir, où elles se reproduisent et se transforment jusqu'à la maturité.

LA MÉIOSE

La méiose comprend deux mitoses ou divisions cellulaires qui, à partir d'une cellule diploïde, aboutissent à quatre cellules haploïdes, et, plus précisément, à quatre spermatides pour l'individu mâle et à un ovule et trois « globules polaires » pour la femelle, au moins chez les animaux supérieurs.

La première des deux divisions présente une prophase très particulière, subdivisée en un certain nombre de temps; dans un premier temps, le leptotène, *les chromosomes apparaissent allongés, minces et séparés les uns des autres; dans le deuxième temps, le* zygotène, *les chromosomes homologues s'apparient; suit le troisième temps, dit* pachytène, *durant lequel les chromosomes homologues, toujours appariés, se raccourcissent et grossissent.*

A la fin de ce stade, on assiste, dans la spermatogenèse, au stade immédiatement suivant de diplotène, *tandis que dans l'ovogenèse, on note, avant le diplotène, une période de repos, durant laquelle se produisent dans la cellule différentes transformations internes qui la rendront apte à sa fonction reproductrice.*

Au cours du diplotène, chacun des deux chromosomes homologues se fissure, ce qui donne lieu à l'apparition d'une figure particulière appelée tétrade, formée de l'ensemble des quatre chromatides. Même après ce dernier stade, on note, dans l'ovogenèse, une autre période d'accroissement et de remaniement des structures internes, avant que la division ne se poursuive.

Le stade final de la prophase méiotique est celui de la diacinèse, *au cours duquel les tétrades présentent des formes assez trapues et sont disséminées sans ordre dans le noyau. Suit la métaphase, au cours de laquelle chacun des chromosomes homologues migre vers un pôle de la cellule; la division cellulaire se poursuit ensuite normalement comme une mitose.*

D'après ce que nous venons de dire, on peut noter que les chromosomes ne se sont pas dupliqués et que les constituants de chaque couple de chromosomes homologues migrent chacun dans une cellule différente, ce qui aboutit à la réduction de moitié du patrimoine chromosomique des cellules filles. La deuxième division méiotique est, en revanche, une mitose normale, avec duplication des chromosomes.

Dans la spermatogenèse ou formation du spermatozoïde, la cellule qui entre en méiose est appelée spermatocyte de premier ordre, tandis qu'à la fin de la première division les deux cellules filles sont appelées spermatocytes de deuxième ordre; à la fin de la deuxième division, les cellules filles sont dites spermatides. Ces derniers subissent différentes modifications internes et externes, sans se diviser ultérieurement, et ne prennent le nom de spermatozoïdes qu'après avoir acquis totalement le pouvoir de fécondation.

Dans l'ovogenèse ou formation de l'ovule, l'ovocyte qui entre en méiose se divise d'abord en un ovocyte de deuxième ordre et en une cellule atrophique très petite, le globule polaire de premier ordre; puis, à la deuxième division, l'ovocyte II se divise à nouveau en une cellule œuf proprement dite et un globule polaire de deuxième ordre; à son tour, le globule polaire de premier ordre peut se diviser en deux globules polaires de deuxième ordre, dépourvus de tout pouvoir de reproduction. Parvenu à ce point, l'ovule est prêt à être fécondé par un spermatozoïde.

LA RÉGÉNÉRATION

Bruce Coleman - J. Burton



La régénération : le lézard *(Lacerta vivipara)* est capable de régénérer sa queue si celle-ci est coupée accidentellement.

Les phénomènes de régénération qui se produisent dans le monde végétal sont universellement connus et on les considère comme naturels ; on n'est nullement étonné de voir un arbre auquel on a coupé une branche la régénérer en peu de temps. De même, tout le monde sait qu'une branche cassée peut, si elle est convenablement enterrée, devenir une bouture et produire de nouvelles racines. En revanche, les phénomènes de régénération que l'on constate dans le monde animal étonnent davantage : pourtant, le lézard régénère sa queue tronquée, la grenouille, après amputation, forme de nouvelles pattes, ou encore la petite hydre d'eau douce, une fois coupée en cinquante morceaux, reconstitue autant d'hydres entières.

Si, par exemple, nous observons un animal très caractéristique à cet égard, l'étoile de mer, nous verrons que non seulement le bras tronqué est rapidement régénéré, mais que ce bras est parfaitement capable de régénérer l'animal tout entier ; ce dernier sera pendant un certain temps très disproportionné et présentera une forme en comète, avec un bras de dimension normale et les quatre bras régénérés beaucoup plus petits.

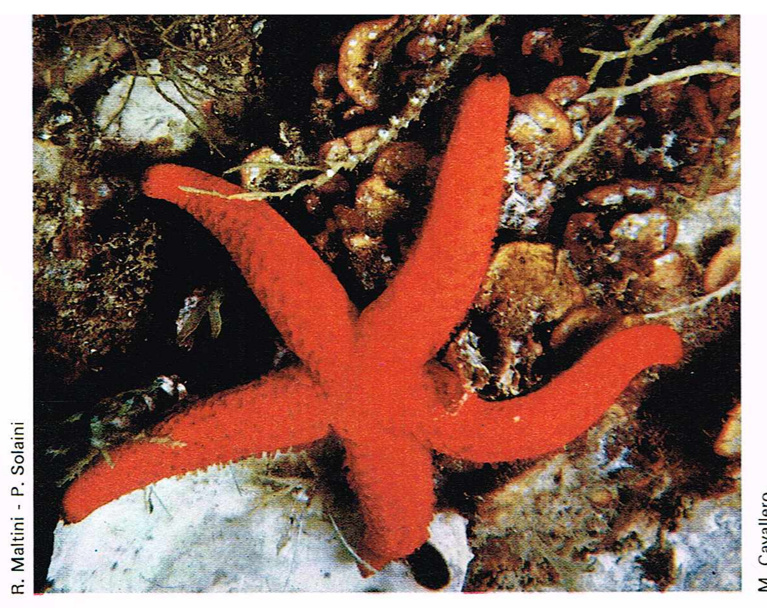
UN SINGULIER SYSTÈME DE DÉFENSE

Chez de nombreux animaux, la possibilité de régénération est en même temps un moyen de défense. Un exemple classique de ce phénomène nous est fourni par le lézard. On sait, en effet, que ce petit Reptile, s'il est saisi par la queue par un ennemi quelconque, se coupe lui-même l'appendice caudal à l'aide d'une très violente contraction musculaire, échappant ainsi à son adversaire. La queue repoussera en peu de temps, redonnant à l'animal son aspect habituel.

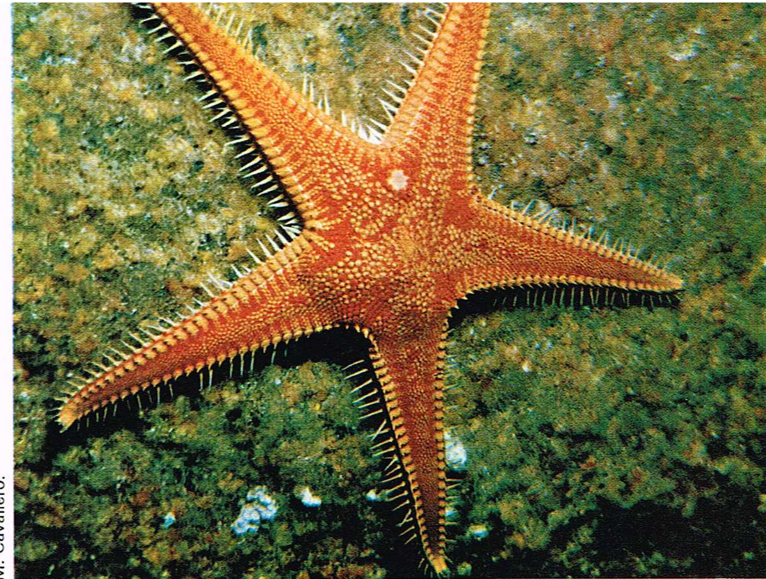
Ce phénomène porte le nom d'autotomie, c'est-à-dire mutilation volontaire d'une partie de soi-même, et se rencontre chez de nombreux animaux peu évolués, comme les étoiles de mer, déjà citées, qui abandonnent facilement leurs bras emprisonnés ou blessés, ou comme les crabes, qui abandonnent de même leurs pattes à l'agresseur, ou bien encore comme les ophiurides (animaux semblables aux étoiles de mer), dont il suffit de toucher un bras pour que l'animal s'en détache précipitamment. Parmi tous les cas d'autotomie, un des plus singuliers et des plus intéressants est celui des holothuries, autres Échinodermes, à la forme grossièrement allongée : ces Invertébrés, lorsqu'ils se sentent en danger, expulsent tous leurs viscères, qu'ils régénèrent ensuite en peu de temps. C'est le processus d'éviscération.

Tous les exemples cités montrent que ces phénomènes de régénération, qui intéressent des parties du corps perdues volontairement ou par accident, se produisent uniquement chez des animaux appartenant à des groupes dans l'ensemble peu évolués et qui, de ce fait, présentent une plus grande simplicité de structure et une moindre spécificité des cellules des différents tissus. La régénération existe pourtant, nous l'avons vu, chez des Reptiles.

En revanche, les Mammifères et les Oiseaux ont perdu l'essentiel des possibilités de régénération et, s'ils subissent une mutilation quelconque, ils ne peuvent généralement opposer comme seul remède qu'une cicatrisation aussi rapide que possible.



R. Maltini - P. Solaini



M. Cavallero.

Ci-dessus, deux étoiles de mer : *Echinaster sepositus* (à gauche) et *Astropecten auranticus ;* on sait que ces Echinodermes sont capables de régénérer leurs bras amputés.

LES EXPÉRIENCES SUR LA RÉGÉNÉRATION

Une des expériences les plus intéressantes relatives à la régénération remonte à 1798 : Lazzaro Spallanzani observa qu'après avoir tronqué la tête d'un escargot, l'animal reconstituait intégralement une nouvelle tête avec toutes ses structures, comme l'appareil buccal, les centres nerveux, des yeux, etc.

Ce phénomène, largement vérifié par les contemporains de Spallanzani, suscita d'interminables polémiques non seulement parmi les savants, mais aussi parmi les philosophes. Ces derniers voyaient chanceler les fondements de toute la métaphysique, qui faisait résider l' « âme » dans la tête, c'est-à-dire dans le cerveau. Le problème posé était extrêmement ardu : fallait-il considérer qu'une nouvelle âme venait remplacer l'âme disparue à la suite de la coupure de la tête, ou bien fallait-il considérer comme erronée toute la doctrine antérieure ?

Les amis des bêtes ne manquèrent pas d'intervenir dans ce débat, pleurant hautement sur le massacre dont étaient victimes ces pauvres bêtes et demandant l'interruption immédiate des expériences, indépendamment de toute considération sur les résultats.

On sait aujourd'hui avec certitude que les animaux capables de régénérer les parties lésées sont nombreux, à condition que soient conservés certains tissus, dont les cellules, pas très spécialisées, pourront être le point de départ de la régénération de l'organe amputé.

*Un exemple curieux nous est fourni par l'*Alpheus*, crabe qui possède une paire de pinces asymétriques, l'une étant de grande dimension, l'autre plus petite. Si l'on ampute l'animal de la grande pince, on assiste alors à un phénomène singulier : la petite pince, restée indemne, s'accroît jusqu'à atteindre les dimensions de la pince amputée, tandis que le moignon régénère une petite pince.*

En ce qui concerne les possibilités de régénération chez les Vertébrés, possibilités qui étonnent d'autant plus que l'animal est plus évolué structuralement, citons encore Spallanzani, qui, après une série importante d'expériences, constata chez le triton la régénération des quatre pattes, de la queue, des mâchoires et des yeux. Étonné par les possibilités de ce petit animal, Spallanzani essaya d'amputer à nouveau les membres régénérés et observa la régénération répétée du même membre, sans aucune déformation de sa structure.

Chez les Reptiles, les possibilités de reconstitution des membres amputés sont considérablement réduites, et seuls le lézard et l'orvet sont capables de régénérer la queue, qui parfois repousse anormale, double ou triple.

DES POISSONS AUX PLANAIRES

On a observé dans certains cas des phénomènes de régénération même chez les Poissons, mais seulement pour les nageoires ; comme on le voit, chez ces animaux, les propriétés de régénération d'organes amputés ont perdu une grande partie de leur importance. Ces propriétés seront pratiquement totalement absentes chez des animaux plus évolués, qui conservent partiellement ce pouvoir pour quelques organes internes, comme l'ont montré certaines expériences effectuées sur le foie de lapin ou sur les glandes salivaires. Ajoutons que la régénération d'une patte aurait été observée chez l'opossum. Notons enfin qu'il n'est pas très rare que des enfants ayant subi une « amygdalectomie » aient reconstitué leurs amygdales.

Après l'amputation, la régénération débute par la formation d'un petit blastème, c'est-à-dire un groupe de cellules qui jouent le rôle de « bourgeon » pour l'organe qui doit se reconstituer. Ce blastème peut être formé de cellules ayant une origine très différente de celles qui ont donné naissance à l'organe lors du développement embryonnaire ; n'ayant pas subi de différenciation trop marquée, lesdites cellules ont conservé la propriété de donner naissance à différents types de tissus.

A cet égard, un exemple curieux nous est fourni par une ascidie, Clavelina lepadiformis, *qui peut se reconstituer en entier à partir du seul appareil branchial, selon un processus particulier.*

L'appareil branchial, isolé de l'animal, se différencie dans un premier temps en se réduisant à un amas presque sphérique de cellules plus ou moins uniformes : à ce stade d'homogénéité, très semblable à un stade de développement embryonnaire, fait suite une différenciation progressive des différentes parties, jusqu'à la reconstitution de l'individu entier. Cela se passe un peu comme si, revenant en arrière dans le temps, les cellules de l'organe isolé récupéraient les possibilités de développement qui sont propres à l'œuf.

Chez les planaires, qui sont des vers plats, d'eau douce pour la plupart, la reconstitution des organes amputés s'effectue à partir de cellules particulières qui prennent le nom de néoblastes ; ces cellules présentent la possibilité de migrer dans n'importe quelle partie de l'organisme, là où leur présence est rendue nécessaire, comme s'il s'agissait de responsables des réparations accourant dans les zones sinistrées.

On pense que cet appel est véhiculé par une hormone sécrétée au niveau de la blessure ; l'hormone, entrée dans la circulation, parvient avec une certaine rapidité jusqu'aux néoblastes : ceux-ci, à leur tour, mettent dix jours à parcourir un dixième du corps du ver en direction de la zone d'appel.

Chez les planaires, la rapidité de la régénération de la tête diminue quand la section transversale est pratiquée de plus en plus loin, vers la queue. En effet, la régénération dépend du « gradient axial » de l'animal : on appelle ainsi la variation du métabolisme cellulaire le long d'un axe.

Si l'on isole un court fragment de planaire, qui ne comporte donc qu'une faible partie de gradient axial, on constate parfois l'apparition de deux têtes, une à chaque section. C'est le phénomène d'hétéromorphose, due à la faible polarité de la portion isolée.

Dernière remarque importante : la régénération se rencontre surtout chez les animaux qui présentent de la reproduction asexuée. Les deux phénomènes ne sont d'ailleurs pas sans rapport.

LA SÈVE ET LE SANG

Le passage des organismes simples à des êtres vivants plus complexes et l'accroissement des dimensions du corps ont entraîné l'apparition de structures de plus en plus complexes. Dès lors, les besoins nutritionnels ne pouvaient plus être satisfaits par le simple transport des liquides du milieu environnant vers l'intérieur de l'organisme, transport assuré par un système de canalicules semblable à celui que présentent les éponges. Des organes spéciaux sont devenus nécessaires pour assurer le transport et l'assimilation des éléments nutritifs.

C'est ainsi que se développent chez les animaux un appareil respiratoire, un appareil digestif et un appareil circulatoire ; nous n'envisageons ici que ce dernier. A l'intérieur de cet appareil circule un liquide, le sang, capable de transporter l'oxygène et les substances métabolisées à toutes les cellules de l'organisme, quelles que soient la taille et la complexité de celui-ci. Les végétaux aussi possèdent un appareil circulatoire, composé de deux systèmes principaux de conduction, l'un ascendant, qui a pour rôle de porter la sève brute aux feuilles, l'autre descendant, qui transporte la sève élaborée à toutes les cellules.

Celles-ci l'utilisent tant pour la production de l'énergie nécessaire aux différentes fonctions du végétal que pour le stockage des substances organiques dans des organes de réserve. Le système circulatoire diffère considérablement du monde végétal au monde animal ; mais, si l'on fait abstraction de la composition chimique du liquide, la différence la plus importante réside dans le fait que chez les animaux le sang circule sous l'impulsion d'un organe propulseur, le cœur ; lorsque le cœur est absent, comme chez les animaux les plus simples, la circulation est assurée par les mouvements de l'animal et l'action de muscles situés au contact des vaisseaux ; en revanche, chez les végétaux, où il n'existe ni organe propulseur ni mouvements, l'ascension de la sève obéit à un ensemble de phénomènes physiques très complexes.

T. Sacco



L'exubérance des plantes, qui s'épanouit dans la beauté de leurs feuilles, de leurs fleurs et de leurs fruits, est due à la sève nourricière qui monte des racines. La photo nous montre une belle graminée aux tiges relativement grêles *(Gynerium argenteum)*.

LA SÈVE ET SA CIRCULATION

On sait que les végétaux puisent dans le sol, grâce à leurs racines, l'eau, des sels minéraux et différentes substances contenant, outre les quatre éléments indispensables C, N, H, O, certains autres éléments nécessaires à la vie du végétal, comme le soufre, le phosphore, le potassium, le calcium, le fer et le magnésium, ainsi que d'autres éléments moins nécessaires, comme le zinc, le bore, le manganèse, le cuivre, le chlore et le molybdène.

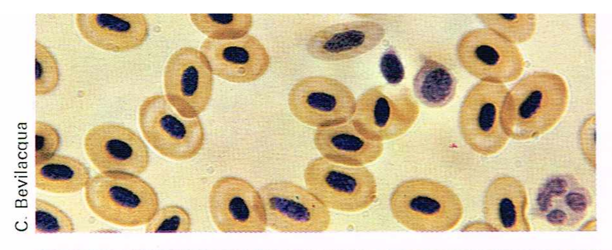
D'autres éléments encore contribuent à rendre plus actifs les processus vitaux ; ce sont l'aluminium, le silicium, le fluor, le brome, l'iode et le césium. On pensait autrefois que les différents sels de ces éléments étaient absorbés en même temps que l'eau par un simple phénomène de diffusion ; on sait aujourd'hui que leur absorption se fait indépendamment de celle de l'eau, qui est réglée par les lois de l'osmose. Disons que, en substance, ce sont les lois de la perméabilité qui régissent l'absorption des sels par la plante et que, par conséquent, l'absorption dépend de l'état de la membrane et du cytoplasme des cellules des racines ; cet état est lui-même sous la dépendance des conditions physiologiques générales du végétal.

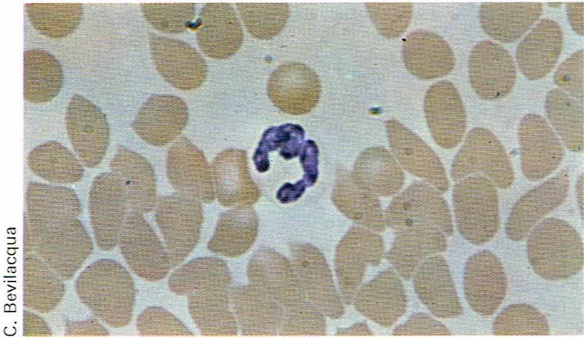
Le transport de l'eau et des éléments dissous par la sève brute depuis les racines jusqu'aux feuilles se fait dans les vaisseaux du bois : c'est du moins l'opinion classique qui est peut-être à nuancer. Rappelons que le « bois » est un ensemble de vaisseaux qui existe même chez les plantes herbacées.

La sève brute doit vaincre de nombreuses forces qui s'opposent à son ascension : la force de gravité, le frottement des colonnes d'eau contre les parois des vaisseaux, ainsi que la résistance opposée par quelques couches minces de cellules qui se trouvent à l'intérieur du vaisseau. Tous ces obstacles n'empêchent pas la sève brute de monter dans les vaisseaux ; sa vitesse ascensionnelle est très variable (1 à 4 mètres à l'heure chez le hêtre, 20 à 45 mètres à l'heure chez le chêne, davantage chez les lianes). La pression hydrostatique qu'elle doit surmonter peut atteindre 0,70 atmosphère, chez le mélèze, et même des valeurs supérieures dans des arbres comme le séquoia, dont la hauteur peut dépasser 100 mètres.

Cette difficile ascension est assurée essentiellement par trois forces : la pression radiculaire, la force aspirante des feuilles, la cohésion de l'eau.

La première, dont le mécanisme n'est pas très bien connu, s'exerce de bas en haut, et se manifeste, par exemple, dans le phénomène des « pleurs » : lorsqu'on coupe une plante immédiatement au-dessus de la racine, des gouttelettes de sève sourdent du moignon demeuré enterré. Cette pression radiculaire serait due aux diffé-


C. Bevilacqua


C. Bevilacqua


C. Bevilacqua

Trois images de corpuscules présents dans le sang. En haut : sang de grenouille, dans lequel sont visibles des hématies et trois leucocytes; au milieu : sang humain, dans lequel sont visibles des hématies et un granulocyte neutrophile; en bas : sang humain montrant des hématies, un gros monocyte doté d'un noyau lobé, un lymphocyte et de nombreuses plaquettes (× 1 000 ; coloration de contraste).

rences de tension en oxygène des diverses parties de la racine (la résistance que les parois lui opposent).

La deuxième force est une conséquence directe de la transpiration des feuilles. Une cellule qui perd de l'eau par transpiration appelle l'eau de la cellule sous-jacente, laquelle, à son tour, n'étant plus saturée, aspire l'eau de la cellule située au-dessous d'elle et ainsi de suite. La troisième force est la force de cohésion des molécules d'eau, qui tend à les maintenir liées dans les colonnes ascendantes.

Les substances nutritives, une fois la sève élaborée, sont transportées à travers un autre système de vaisseaux, les vaisseaux criblés, qui constituent le liber, dans toutes les parties de la plante à une vitesse trop élevée pour que ce phénomène puisse être considéré comme un simple phénomène de diffusion : son déroulement implique donc la présence de forces actives.

Ce mécanisme, plutôt complexe, est le même qui permet, dans deux osmomètres reliés par un tube, une circulation continue de liquide depuis l'osmomètre contenant la solution la plus concentrée vers celui où la solution est moins concentrée.

Naturellement, les conditions physiologiques dans lesquelles ce phénomène se déroule dans la plante sont beaucoup plus complexes et présentent d'autres aspects que nous ne développerons pas ici; nous nous contenterons de ce schéma simplifié.

La vitesse d'écoulement des substances organiques est beaucoup plus lente que celle de la sève brute (entre 50 cm/h et 1 à 2 m/h), mais elle est suffisante pour alimenter au rythme voulu toutes les cellules de la plante.

LE SANG

Bien que d'aspect homogène, le sang est en réalité constitué d'une partie liquide, le plasma, et d'une partie formée de cellules et de fragments de cytoplasme. Le plasma est un liquide de couleur jaunâtre qui contient des sels dissous dans l'eau (le chlorure de sodium y prédomine), des protéines en solution (albumines et globulines, parmi lesquelles le fibrinogène), et différentes substances en suspension. Les cellules du sang sont les érythrocytes (hématies ou globules rouges) et les leucocytes (globules blancs), tandis que les fragments cytoplasmiques sont les plaquettes, qui jouent un rôle très important dans la coagulation.

Les érythrocytes, qui ont la forme de disques biconvexes chez les Mammifères et les lamproies, et une forme ellipsoïdique biconvexe chez les autres Vertébrés, sont d'une couleur jaune olivâtre lorsqu'ils sont observés isolément et rouge lorsqu'ils sont nombreux et qu'ils ont tendance à s'empiler, comme c'est le cas dans la circulation ; ils sont dépourvus de noyau chez la plupart des Mammifères et l'homme adulte et leur durée de vie, toujours chez l'homme, est d'environ 120 jours ; on en dénombre environ 5 millions par mm^3 de sang.

Ces cellules sont extrêmement importantes, car elles sont porteuses d'une protéine complexe, l'hémoglobine (de nature légèrement différente d'une espèce à l'autre), qui possède la propriété d'établir des liaisons stables avec l'oxygène. L'hémoglobine des érythrocytes se charge d'oxygène dans les capillaires pulmonaires, oxygène qu'elle prend dans l'air alvéolaire pour le céder ensuite aux différentes cellules selon un processus dans lequel les pressions partielles de l'oxygène et du gaz ou anhydride carbonique, présents dans le sang et dans le liquide interstitiel, jouent un rôle très important.

Pourquoi l'hémoglobine est-elle contenue dans les globules rouges et non pas simplement dissoute dans le plasma ? La question a fait l'objet de nombreuses études. Les réponses apportées sont de plusieurs ordres : en premier lieu, si l'hémoglobine était dissoute dans le plasma, elle envahirait les tissus et s'éliminerait dans les urines, comme cela survient dans la fièvre hémoglobinurique du bétail, affection provoquant la dissolution des érythrocytes et due à un parasite ; en deuxième lieu (et ce fait est beaucoup plus important), la quantité d'hémoglobine que le plasma pourrait contenir en solution saturée, serait de loin inférieure à celle contenue dans les globules rouges.

Les érythrocytes, après avoir cédé l'oxygène aux tissus, se chargent d'anhydride carbonique, grâce à l'intervention d'une enzyme qu'ils contiennent, l'anhydrase carbonique ; l'anhydride carbonique est ainsi véhiculé jusqu'aux poumons, où il sera éliminé avec l'air expiré.

Les leucocytes, au nombre de 7-8 000 par mm^3 de sang chez l'homme, se divisent en plusieurs groupes : les lymphocytes, les monocytes et les granulocytes (subdivisés à leur tour en neutrophiles, basophiles et éosinophiles en fonction d'une réaction de coloration) ; leur forme, leurs dimensions et leur fonction sont différentes : les monocytes, par exemple, « phagocytent » les Bactéries mais ne les tuent pas, comme le font, en revanche, les granulocytes neutrophiles, qui engagent avec la Bactérie un véritable combat ; celui-ci s'achève par leur destruction ou la destruction de la Bactérie. Les lymphocytes ont aussi une action antibactérienne, non pas en tant que phagocytes, mais comme producteurs d'anticorps.

Les plaquettes, enfin, sont des éléments dépourvus de noyau qui possèdent la propriété de s'agglutiner et d'adhérer aux parois des vaisseaux au niveau des lésions que ceux-ci pourraient présenter, jouant ainsi le rôle de tampon sur la blessure ; en outre, elles contribuent à la formation de la thromboplastine, catalyseur qui agit sur la prothrombine présente dans le sang pour la transformer en thrombine, laquelle, à son tour, catalyse la transformation du fibrinogène sanguin en fibrine.

Les Vertébrés possèdent un second liquide circulatoire, la lymphe, qui circule dans un système lymphatique. Sa composition est assez semblable à celle du plasma ; elle contient surtout des lymphocytes, et quelques autres globules blancs. La lymphe intervient dans la défense de l'organisme contre les microbes.

Il existe, chez la plupart des Invertébrés, des liquides comparables au sang. Celui des Annélides est de couleur variable, et contient parfois de l'hémoglobine. Celui des Arthropodes renferme divers types de cellules sanguines. Quant au sang de l'amphioxus, petit animal marin prototype des Vertébrés, il ne possède, fait curieux, ni globules, ni pigments.

LA VIE AU RALENTI

La vie animale évoque avant tout la rapidité, la mobilité, le mouvement. Pourtant, en diverses occasions, cette vie si exubérante semble s'arrêter pour prendre l'inquiétante immobilité de la mort.

Dormir sept mois sur douze, c'est un sort qu'envieraient bien des spécimens de l'espèce humaine. C'est ce que fait le loir, l'un de nos plus gracieux Rongeurs. En fait, le terme « dormir » n'est pas tout à fait exact. Il s'agit du phénomène d'hibernation, sorte d'engourdissement dans lequel tombent de nombreux Mammifères durant l'hiver.

L'HIBERNATION

Certaines espèces, comme l'ours brun, le blaireau et le castor, ne sont que de « faux hibernants » : leur activité générale ne subit qu'une réduction passagère et irrégulière.

Au contraire, le loir est un vrai hibernant : il en est de même de la marmotte, du hamster, du hérisson, des chauves-souris.

Malgré les apparences, l'engourdissement de ces Mammifères n'est pas forcément lié au froid. Certes, l'abaissement de la température extérieure joue un rôle important, mais la raréfaction de la nourriture intervient aussi.

Le Mammifère hibernant passe donc l'hiver immobile, bien à l'abri dans sa cachette. Sa température interne s'abaisse de façon notable; son métabolisme, c'est-à-dire l'ensemble des processus qui se déroulent dans les cellules, se réduit considérablement; la fixation d'oxygène tombe, chez la marmotte, au vingtième de son taux normal.

Pendant longtemps, l'hibernation des Oiseaux a été considérée comme une fable. Pourtant, on connaît maintenant chez eux des faits qui s'y rattachent. Ainsi, les jeunes martinets noirs, lorsque les parents sont partis chasser les Insectes loin des nids, entrent en léthargie. Leur température passe de 38° à 25°. Leur état comateux peut durer une vingtaine de jours : il prend fin dès le retour des adultes.

L'hibernation est encore plus totale chez un engoulevent des États-Unis. Rappelons que les engoulevents sont de lointains parents des martinets, aux mœurs crépusculaires. Les capacités de cette espèce n'ont été découvertes qu'en 1946, mais les Indiens les connaissaient depuis longtemps et avaient même surnommé cet Oiseau le « dormeur ».

Cet engoulevent passe tout l'hiver totalement immobile, dans une cavité rocheuse, la tête vers le bas. Son œil ne réagit même pas si on l'éclaire avec une lampe électrique...

L'engourdissement hivernal est fréquent chez les autres Vertébrés. Reptiles et Amphibiens se groupent souvent dans une même cachette. Les grenouilles s'enfoncent dans la vase et entrent en léthargie. L'activité de la plupart des Insectes se ralentit de même durant la mauvaise saison.

Les Insectes nous offrent un autre type de vie latente : la nymphose, c'est-à-dire le stade intermédiaire entre la larve et l'état adulte. Les nymphes, qui ont des noms variés suivant les groupes (pupes des mouches, chrysalides des papillons, etc.), sont immobiles et ne s'alimentent pas; leur respiration est réduite. Pendant la nymphose, les tissus larvaires sont détruits, d'autres, au contraire, sont édifiés.

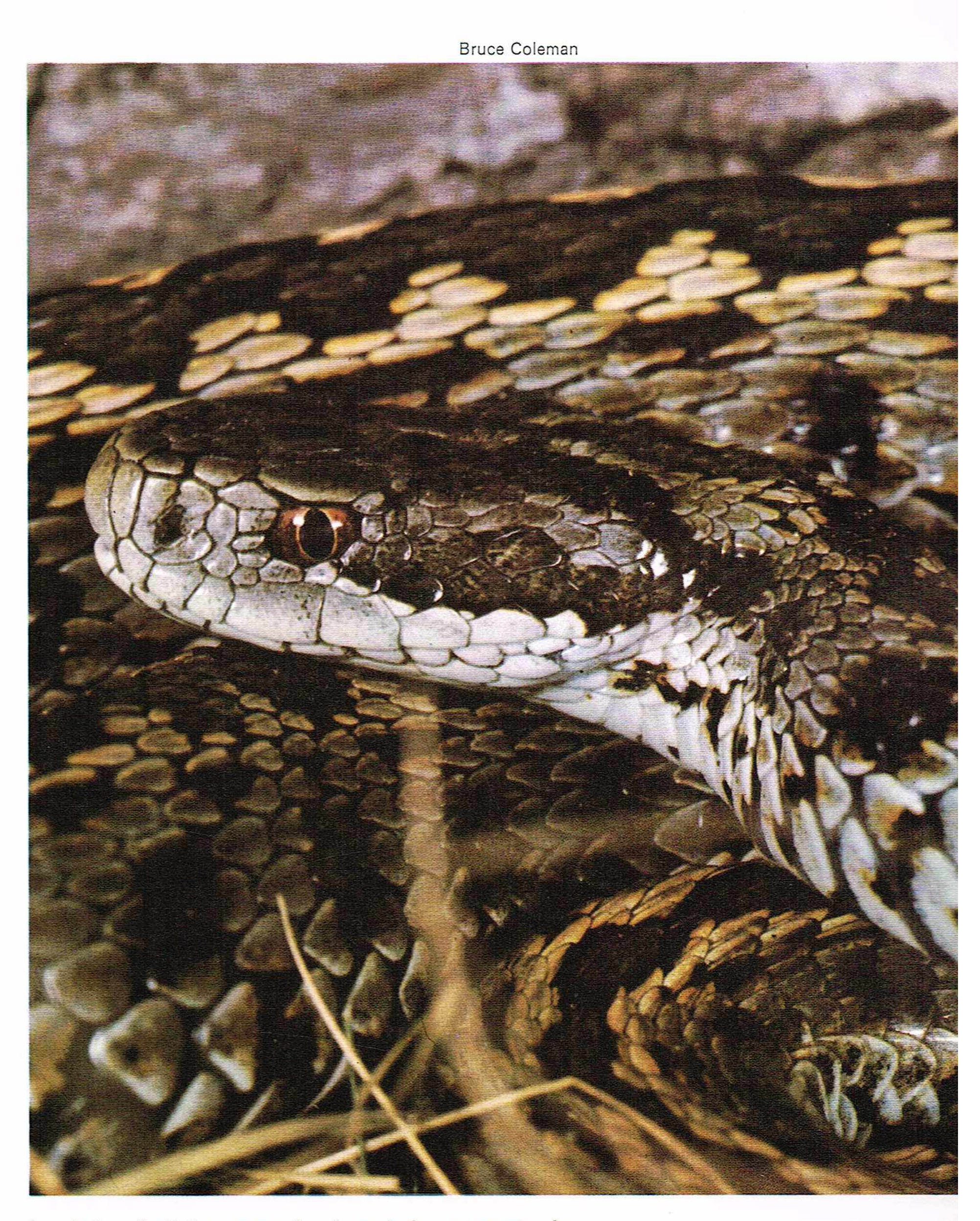
DE L'HYPNOSE A L'ENKYSTEMENT

La léthargie peut aussi avoir, chez les animaux, une cause inattendue : l'hypnose. Au XVIIe siècle, déjà, le Père A. Kircher était parvenu à hypnotiser une poule en l'allongeant sur une table et en traçant un trait à la craie à partir de son bec : l'Oiseau était alors « prisonnier » du trait... Un cheval auquel on caresse le front, une dinde balancée de haut en bas, un écureuil saisi brusquement puis relâché lentement peuvent aussi entrer en hypnose. Des cirques ont même présenté un numéro d'hypnose de crocodiles.

Des phénomènes assez proches se rencontrent en pleine nature. Certains Oiseaux, les sarigues, des Insectes comme les phasmes, « font le mort » à l'approche d'un ennemi; mais cette catalepsie leur est parfois fatale, leur adversaire en profitant pour les croquer...

Autre cas de catalepsie : celui du chien d'arrêt; lorsqu'il a décelé une proie, il demeure figé sur place, l'une de ses pattes antérieures pliée au niveau du carpe, durant

Bruce Coleman



La vipère *Orsini*, comme la plupart des serpents des zones tempérées, entre dans une période de léthargie hivernale.



Un exemple de Mammifères qui tombent en léthargie : la taupe.

plusieurs minutes. Les chiens couchants, quant à eux, se plaquent au sol à l'approche du gibier.

De très nombreux Invertébrés présentent ce qu'on appelle des « formes de résistance », autre phénomène de vie latente, chaque fois que les conditions du milieu dépassent les limites de tolérance de l'animal. Il n'est pas rare d'observer des stades progressifs de ralentissement des phénomènes physiologiques ; l'activité normale demeure lorsque les conditions extérieures sont favorables ; elle est partiellement réduite lorsqu'elles le sont moins (par exemple, l'animal ne se reproduit plus), et pratiquement supprimée dans les cas les plus défavorables.

On trouve des « formes de résistance » chez les Protozoaires ; bien que ces derniers aient besoin d'un milieu liquide, ils parviennent néanmoins à survivre durant un temps assez long sur un substrat sec, en se transformant en spores ou en subissant un processus d'enkystement.

Les spores ont la propriété de résister à des températures beaucoup plus élevées et beaucoup plus basses que celles compatibles avec la vie du Protozoaire dont elles sont issues. Cette survie est possible grâce à l'arrêt de toute activité physiologique, tandis que demeure la possibilité pour la spore de se transformer à nouveau en Protozoaire aussitôt que les conditions ambiantes redeviendront favorables et l'humidité suffisante.

Il en est de même en cas d'enkystement : l'animal se déshydrate presque complètement et devient inactif ; il peut ainsi résister à la sécheresse à l'intérieur de certaines limites qui sont cependant assez larges. En présence d'eau d'un pH et d'une salinité appropriés, le kyste se réhydrate et le Protozoaire recommence à vivre.

Certains Invertébrés, les Rotifères et les Tardigrades, peuvent aussi se transformer facilement en kystes : les premiers, qui vivent dans les mousses humides et sur les lichens, se réduisent à un état de vie latente lorsque leur substrat vital se dessèche ; les seconds subissent ce phénomène lorsque la vase des canaux et des gouttières ou le terreau dans lequel ils vivent s'assèche. A l'état de kystes, ils sont capables de résister même plusieurs mois.

Les œufs du Crustacé Artemia salina *peuvent survivre à l'état desséché pour reprendre vie au bout de dizaines d'années : on les a même vendus à l'intention des enfants sous le nom de « poudre de vie »...*

Les Éponges présentent des formes de résistance connues sous le nom de « gemmules », qui se développent à l'intérieur du corps de l'Éponge lorsque les conditions deviennent défavorables ; dans la gemmule sont pour ainsi dire inscrites toutes les cellules qui serviront à reconstituer l'Éponge. Protégée par une enveloppe résistante, elle est ainsi capable de résister dans un milieu défavorable.

LE CAS DES PARASITES

Les parasites présentent des formes particulières de vie latente ; leur activité physiologique ne pouvant s'exercer que dans un organisme hôte, ils doivent, pour survivre, subir une transformation opportune lors du passage d'un hôte à l'autre ou lorsqu'ils se trouvent dans l'attente d'être ingérés par un organisme leur offrant un milieu favorable.

La douve du foie, par exemple, se transforme, à un certain moment de son cycle de développement complexe, en cercaire, forme particulière qui vit à l'état libre dans l'eau. La cercaire se fixe bientôt sur les feuilles et sur les tiges de certaines plantes aquatiques et s'y enkyste, dans l'attente qu'un mouton l'introduise, avec l'herbe, dans son appareil digestif : c'est là que le kyste se transforme en douve adulte, capable de se reproduire.

Un phénomène analogue est observé chez le ténia ou ver solitaire, dont la forme larvaire, le cysticerque, se fixe aux muscles du porc et y reste inchangée jusqu'à ce que l'homme l'absorbe. Une fois dans l'appareil digestif humain, le cysticerque produit l'animal adulte.

Comme dernier exemple, enfin, nous citerons le Nématode parasite Trichinella spiralis, *dont l'adulte bourgeonne dans l'intestin de l'hôte de très nombreuses larves qui vont s'enkyster dans les muscles de l'hôte, par exemple dans le diaphragme du rat, d'où elles peuvent passer dans le porc pour s'y transformer en individu adulte, lequel se reproduit et bourgeonne de nouvelles larves ; celles-ci s'enkystent dans les muscles du porc et l'ingestion de la viande infestée provoquera chez l'homme l'apparition du parasite. Comme on le voit, les formes d'enkystement sont fréquentes chez les vers parasites.*

LA VIE LATENTE CHEZ LES VÉGÉTAUX

La graine des végétaux constitue l'un des exemples les plus connus de la vie latente : il s'agit d'un corpuscule de forme et dimensions diverses, apparemment sans vie, qui peut généralement résister durant très longtemps dans des conditions qui seraient absolument incompatibles à la survie de la plante dont il est issu, et cela tout en conservant la possibilité de germer dès que les conditions redeviendront favorables.

Cette aptitude de la graine à survivre dans les conditions les plus diverses sans manifester une quelconque activité physiologique assure d'une part la diffusion de l'espèce, la graine pouvant être emportée très loin par les moyens les plus variés, et d'autre part, la conservation même de l'espèce ; ainsi, une crue ou un incendie peut provoquer la destruction de nombreuses plantes, mais aussi bien l'eau, dans le premier cas, que le vent, dans le second, sont susceptibles de transporter ailleurs les graines.

Les végétaux inférieurs, les Cryptogames, qui ne produisent ni fleurs ni graines, émettent des spores ; cependant, celles-ci n'ont pas la même résistance que les graines.

Dans certaines espèces, en effet, la spore peut rester très longtemps en suspension dans l'air avant de retomber sur le sol et de germer. Dans d'autres espèces, en revanche, le temps de survie de la spore est court et celle-ci meurt si elle ne rencontre pas tout de suite un terrain favorable.

Il existe chez les végétaux d'autres formes de résistance, telles que les propagules des mousses, qui sont néanmoins relativement fragiles, et les sclérotes des Champignons : ces derniers, protégés par une enveloppe très dure et très résistante, sont capables de survivre dans les conditions les plus difficiles.

Il convient, enfin, de mentionner le pollen, qui n'est pas à proprement parler une forme de résistance, mais qui renferme un gamète (cellule sexuelle) mâle ; emporté pendant longtemps au gré des vents, il se montre apte, du moins dans certaines espèces, à résister à des conditions précaires et conserve le pouvoir de féconder la première fleur de son espèce sur le pistil de laquelle il se posera.

Mais ce sont sans doute les Bactéries qui battent tous les records de vie latente. Récemment, des chercheurs américains ont découvert dans le sous-sol de l'Antarctique des Bactéries vieilles de 10 000 ans à près d'un million d'années. Ils ont pu les ranimer et elles se sont même multipliées dans un milieu de culture adéquat. Des Bactéries encore beaucoup plus anciennes, trouvées dans des mines de sel, auraient de même « ressuscité ». Il faut toutefois se méfier de certaines exagérations en ce domaine.

Les problèmes de la vie latente et de la survie passionnent en tout cas les biologistes. Qu'en sera-t-il demain pour notre espèce ? Aux États-Unis plusieurs personnes récemment décédées ont été congelées dans l'espoir d'une hypothétique résurrection...

LA VOIX DES ANIMAUX

L'homme, être capable de raisonnement, exprime sa pensée à l'aide de la parole. A mesure que ses connaissances et son expérience s'étendent, le langage se perfectionne et l'expression écrite ou orale prend une importance croissante. La communication verbale est rendue possible par l'aptitude que l'homme présente à articuler des sons à l'aide de la langue, sons produits par des replis cutanés situés à la partie supérieure des voies respiratoires, les cordes vocales, dont les mouvements et la tension sont réglés par des muscles appropriés.

Indépendamment de la signification des sons émis, la voix elle-même, par ses diverses inflexions, renseigne sur l'état émotionnel de la personne qui parle. De plus, un regard, un geste, une moue complètent le langage parlé. Mais, si la parole n'appartient qu'à l'homme, placé au sommet de l'échelle animale, les autres animaux utilisent eux aussi l'émission de sons comme moyen, sans doute très élémentaire, de communication. Les animaux aussi communiquent entre eux, et de façons très diverses. On ne peut en effet imaginer une société animale, ou même simplement une famille dont les membres ne se comprendraient pas : ce serait une vraie tour de Babel.

Aussi est-on amené à parler du « langage des animaux ». En fait, c'est un peu exagéré. Chez la plupart des espèces, il s'agit seulement de signaux ou de codes, qui s'appliquent à la situation présente et manquent d'abstraction et de symbolisation.

La danse de l'abeille serait pourtant un véritable langage : on sait que l'abeille informe, grâce à elle, ses congénères de la distance à laquelle se situe une source intéressante de nourriture.

Mieux encore, depuis une date récente, des biologistes ont entamé un véritable dialogue avec le chimpanzé. En effet, grâce au langage des sourds-muets, ou en assemblant des jetons de couleurs, ou encore en tapant sur un clavier, des chimpanzés parviennent à composer de petites phrases. Et n'oublions pas l'extraordinaire dialogue, fondé sur des sons celui-là, que l'homme commence avec le dauphin.

Le « langage » des animaux — employons quand même ce terme — comprend des signaux de types très variés. Il en est de tactiles, comme les frottements de nez des Rongeurs et les jeux d'antennes des fourmis. D'autres sont visuels : postures des Oiseaux, mimiques du chat, des singes, etc. D'autres, fort importants, sont olfactifs : de nombreux Insectes sociaux, et aussi des Mammifères, sécrètent à l'extérieur des hormones odorantes, les phéromones, qui jouent un grand rôle dans leur biologie.

CRIS ET CHANTS DES OISEAUX

Et puis, il y a donc, bien sûr, des signaux auditifs. C'est tout de suite aux Oiseaux que l'on pense à cet égard. Leurs émissions vocales sont produites par un organe qui leur est propre : la syrinx. Formée de membranes vibratoires, elle se situe à la bifurcation des deux bronches.

Il faut faire une nette distinction entre les cris et le chant. Les premiers sont poussés par le mâle comme par la femelle et les jeunes, et à toute époque de l'année. Ils ne sont généralement pas très mélodieux mais ont des significations fort diverses.

Ainsi, chez la poule domestique, une dizaine de cris ont été identifiés : cri d'alarme, cri de ponte, cri de menace, cri d'appel, cri de défense, gloussement, piaillement, etc.

Chez les corbeaux, existe un cri d'effroi, destiné à inciter les congénères à fuir devant un danger. Il signifie à peu près : « Sauvez-vous, il y a un danger. » Il a eu une application économique inattendue. Les agronomes l'enregistrent sur bande magnétique, puis le diffusent par haut-parleur à intervalles réguliers. En entendant ce « message », les corbeaux finissent par abandonner les lieux, en général un champ où leur abondance les rendait indésirables.



Archivio Longo

Le rouge-gorge, comme bien d'autres Oiseaux, émet un chant très harmonieux.

Le chant est, au contraire, le propre du mâle, à quelques exceptions près. Il n'est vraiment mélodieux que chez les passereaux, dont certaines espèces sont réputées à cet égard : le merle noir, dont le chant retentit jusqu'au



Bruce Coleman - F. Erize

Les gros Mammifères, ici un couple d'éléphants de mer, possèdent des voix extrêmement diverses, dont l'intensité n'est pas toujours en rapport avec leur taille. La voix, moyen de séduction, leur permet aussi d'exprimer la douleur, la colère, l'agressivité, etc.

cœur de nos villes, la grive musicienne et, bien sûr, le rossignol.

L'Oiseau qui chante cherche à affirmer sa présence dans son « territoire », c'est-à-dire la surface qu'il considère comme sa propriété, au moins vis-à-vis de ses congénères.

INSECTES MUSICIENS

Les signaux acoustiques ont aussi une grande importance dans la biologie des Insectes « musiciens », autrement dit les criquets, les sauterelles, les grillons et les cigales.

La façon dont « chantent » ces divers Insectes est très variable. Les criquets frottent les cuisses de leurs pattes postérieures sur le bord de leurs élytres, qui sont leurs ailes antérieures durcies.

Au contraire, les sauterelles frottent l'archet (autrement dit la nervure crénelée) de leur élytre gauche contre le miroir, sorte de surface lisse entourée d'un cadre, de leur élytre droit.

Le chant du grillon, lui, peut s'entendre jusque dans nos maisons... et dans les stations du métro parisien. Cet Insecte possède deux élytres identiques : chacun est doté d'un archet et d'une chanterelle, qui est en quelque sorte la « corde » de l'instrument. L'archet de l'élytre droit frotte la chanterelle de l'élytre gauche, et vice versa.

Quant aux cigales, elles présentent, suivant l'espèce, deux types d'appareils. Il peut s'agir d'un double tambour, formé d'une membrane élastique vibrante, et situé à la face inférieure du thorax. C'est en somme une caisse de résonance. Chez d'autres cigales, le thorax et l'abdomen sont creusés d'une vaste cavité qui joue le même rôle.

La signification du chant des Insectes est également variable. Il peut servir à effrayer un ennemi, à défendre le territoire, à garder le contact avec les congénères. Mais surtout, ce chant intervient dans le rapprochement des sexes : les femelles de sauterelles sont attirées par la stridulation des mâles.

DU CHAT AUX CHAUVES-SOURIS

Le langage vocal des Mammifères présente, on le sait, une immense diversité. Celui des singes a été très étudié. On est ainsi parvenu à déchiffrer la signification des cris du lagotriche ou singe laineux d'Amérique du Sud. Chez lui, « Iolk » est un cri de bienvenue ; « Ooh-ooh », une invitation au jeu ; « Argck-argck » est agressif.

Le langage du chat est fort subtil en raison du dédoublement de ses cordes vocales. Il comprend plus de 65 sons différents. Le chat miaule, bien sûr, mais son répertoire comprend aussi des roucoulements, des grognements, des grondements, des « cris de guerre » qui évoquent les jappements du chien... Le feulement amoureux... et nocturne est bien connu.

Et puis, il y a le ronronnement, dû, semble-t-il, à une contraction des cordes vocales. De prime abord, il semble être une manifestation de bien-être, d'euphorie.

La réalité est sans doute plus complexe. Le ronronnement, selon des travaux récents, serait un comportement infantile qui persisterait à l'état adulte. Les observations faites par le professeur B. Condé, de l'université de Nancy, sont, à cet égard, significatives : de jeunes chats sauvages ronronnent avec leur mère durant l'allaitement ; s'ils sont très tôt confiés à une chatte domestique, ils ronronnent de même avec elle. S'ils sont nourris au biberon par un homme, c'est avec lui qu'ils ronronnent.

Autrement dit, le ronronnement est une conséquence de l'imprégnation par la mère, ou l'être qui en tient lieu. Le chat adulte qui ronronne en présence de son maître (dans la mesure où le chat peut avoir un « maître », ce que d'aucuns contestent !) lui témoigne donc sa soumission. Il ronronne par exemple pour lui demander de la nourriture.

Parfois aussi, les chats ronronnent lorsqu'ils se trouvent dans une situation difficile, après un accident ou lors d'une maladie : c'est leur façon d'appeler leur maître au secours.

Le langage félin se compose encore de mimiques de la face (75 expressions ont été décelées), de mouvements du corps (comme le « gros dos ») et de la queue. De plus, le chat marque les frontières de son territoire avec sa salive, son urine, ou des sécrétions odorantes de ses glandes.

Le langage du chat est donc composé de toute une gamme de signaux d'ordres très variés. Il en va de même pour le chien et bien d'autres animaux. Aux hommes, qu'ils soient psychologues ou simples curieux, de savoir les comprendre.

Une difficulté surgit à propos des sons : l'oreille humaine est seulement sensible aux sons de fréquence comprise entre 16 et 1 600 Hz, c'est-à-dire dans un intervalle beaucoup plus restreint que celui de nombreux animaux. Ainsi, nous ne percevons que les sons émis par un certain nombre d'animaux, et n'entendons pas ceux émis par d'autres.

Ainsi, les chauves-souris s'orientent grâce à l'émission de sons non audibles pour l'homme, des ultrasons, qui sont réfléchis par les obstacles qu'ils rencontrent sur leur trajectoire. L'efficacité du « radar » ou, mieux, du sonar, de ces animaux est notablement supérieure à celle de l'appareil construit par l'homme sur le même principe : en effet, les chauves-souris sont capables de voler entre des obstacles très rapprochés et de capturer en plein vol des Insectes de très petite taille.

Le fait que de nombreux animaux peuvent communiquer entre eux par l'émission de sons non perceptibles par l'homme ouvrira sans doute, une fois que les instruments techniques appropriés seront mis au point, un nouveau champ de recherches et permettra notamment d'expliquer certains comportements qui paraissent incompréhensibles.

LES ÊTRES VIVANTS ET LE MILIEU



T. Sacco

L'influence du milieu, ou de l'environnement, comme on dit plus volontiers aujourd'hui, sur l'évolution des êtres vivants est très importante ; l'aspect que nous offrent aujourd'hui la flore, la faune et l'homme lui-même dérive pour une bonne part de l'influence du milieu dans lequel les différents organismes ont vécu depuis l'origine de la vie.

Certes, tout être vivant adopte comme habitat celui dont les conditions (température, taux d'oxygène, lumière, humidité, etc.) lui sont le plus favorables, mais le milieu exerce à son tour une action indiscutable sur le plan de la sélection naturelle des caractères, déterminant ainsi les particularités propres à chaque espèce.

Prenons l'exemple de la longueur des membres (bras, jambes, mains et pieds) des Esquimaux : ils sont nettement plus courts que chez les populations des zones tempérées et chaudes, ce qui est dû à la rigueur du climat ; en effet, les membres offrent une surface importante de déperdition de chaleur et, par conséquent, leur réduction diminue cette déperdition.

Un groupe d'indigènes au marché de bananes d'Arusha, en Tanzanie. La population du globe est divisée en races et sous-races, dont les caractéristiques sont en partie déterminées par l'influence du milieu et se transmettent selon la loi de transmission des caractères héréditaires.

Autrefois, sous l'influence de Lamarck, de nombreux savants considéraient que les caractères acquis par un individu au cours de son existence étaient transmissibles comme les caractères héréditaires. Ainsi — croyait-on — un homme qui avait acquis une musculature puissante par un travail physique intense pouvait transmettre ce caractère à ses descendants ; de même, les membres courts des jeunes Esquimaux auraient été dus à un processus analogue.

Une telle interprétation du mécanisme héréditaire est tout à fait erronée : un caractère acquis, sous l'effet du milieu ou du mode de vie, par un individu au niveau de son phénotype (ou aspect extérieur) ne s'inscrit pas dans son génotype (ou patrimoine chromosomique) et encore moins dans celui de ses enfants. Les phénomènes



Marka

Ci-dessus : les Pinnipèdes des mers polaires possèdent sous leur peau épaisse une couche importante de graisse et présentent d'autres caractéristiques les rendant aptes à vivre dans les eaux glaciales.

qui sont à l'origine de l'évolution sont d'une tout autre nature.

Le problème de l'adaptation au milieu passionne biologistes et écologistes. La plupart des animaux paraissent en effet morphologiquement adaptés au milieu qu'ils habitent. Toutefois, il est des exceptions à cette règle. Ainsi, les espèces migratrices fréquentent, au cours de leurs déplacements, des régions d'aspects variés.

L'ours blanc, qui vit sur les côtes des mers arctiques et nage très bien, a une morphologie peu différente de celle des ours montagnards. De petits Rongeurs, comme les campagnols, sont de très bons fouisseurs : ils n'ont pourtant pas les adaptations de la taupe par exemple.

Mais souvent au contraire, l'adaptation des animaux à leur milieu et à leur genre de vie est si poussée qu'elle entraîne le phénomène de convergence. Autrement dit, des espèces de groupes très différents, mais menant une existence comparable, finissent par se ressembler. Ainsi, les thons, les requins, les dauphins, les ichtyosaures (Reptiles de l'ère secondaire) ont la même silhouette hydrodynamique.

De même, les membres antérieurs en pelle de la taupe se retrouvent chez le notorycte, ou « taupe marsupiale » d'Australie. Mieux encore, divers Insectes ont aussi des pattes antérieures en pelle. Le plus connu est la courtilière, d'ailleurs appelée pour cette raison « taupe-grillon ». C'est aussi le cas d'un coléoptère du Brésil et d'un orthoptère australien.

LA SÉLECTION NATURELLE

La sélection naturelle a pour effet de préserver, dans un milieu donné, les individus les plus aptes à y vivre et d'éliminer les autres.

Ainsi, le jeune Esquimau, né avec des membres longs, courra un risque de congélation dès les premières années de sa vie ; même si ce risque est évité, son existence d'adulte sera rendue plus précaire par le fait qu'il souffrira davantage du froid. Incapable de résister longtemps au froid, sa chasse sera moins fructueuse et ses enfants, moins bien nourris, succomberont plus nombreux.

Les survivants seront désavantagés à leur tour par la longueur de leurs membres ; leur descendance s'éteindra et les individus aux membres courts deviendront plus nombreux.

Un autre facteur important de sélection lié au milieu est la plus ou moins grande abondance de la nourriture. Les animaux vivant dans des régions où la nourriture abonde seront plus grands, plus forts et plus prolifiques que ceux qui vivent dans les zones plus pauvres ; ces derniers s'éteindront peu à peu à cause de la dénutrition.

Ainsi, par exemple, les rats seront beaucoup plus nombreux et plus robustes dans les endroits où la nourriture est abondante ; ils y attireront des renards, des rapaces et d'autres animaux qui se nourrissent de rats. La population croîtra donc considérablement, jusqu'au moment où, la nourriture venant à manquer, les rats mourront ou migreront ailleurs, entraînant à leur suite les animaux dont ils constituent la principale source alimentaire.

Mais les tentatives de migration pourront se heurter à la résistance opposée par les animaux qui occupent les zones limitrophes ; dans ce cas, l'espèce confinée dans un territoire pauvre en nourriture s'éteindra ou bien modifiera ses exigences alimentaires de manière à les rendre compatibles avec les possibilités offertes par le milieu. Il s'ensuivra une transformation pouvant aboutir à l'apparition d'une espèce sensiblement différente de l'espèce primitive.

L'évolution de l'espèce humaine a été également influencée par des phénomènes de cette nature, mais ceux-ci étaient plus manifestes autrefois qu'aujourd'hui. Les groupes humains vivant dans une région donnée, riche en nourriture et surtout en gibier, devenaient plus robustes et se montraient plus prolifiques, constituant une ethnie forte et nombreuse, qui allait bientôt déborder des limites territoriales et occuper les contrées habitées par des populations moins nombreuses, mal nourries et peu combatives. Ces dernières étaient bientôt soumises et, assimilées par les envahisseurs, perdaient tout caractère ethnique distinctif.

LES FACTEURS LIÉS AU MILIEU

On range habituellement parmi ces facteurs certaines maladies infectieuses capables de décimer en peu de temps des populations entières, comme le choléra, le typhus, le paludisme, la dysenterie, la tuberculose, la variole, etc. La présence des agents responsables de ces maladies dans un secteur écologique où vit une population humaine modifie de manière considérable l'évolution de celle-ci, la rendant plus faible que les populations voisines et limitant l'accroissement démographique à cause de la forte mortalité infantile : on estime que, dans les pays sous-développés, un enfant sur trois meurt encore aujourd'hui de ces maladies.

Une caractéristique importante liée à l'influence du milieu est la pigmentation de la peau, phénomène facilement observable chez l'homme. Une forte pigmentation, due à l'abondance de mélanine dans le derme, constitue un écran très efficace contre le rayonnement ultraviolet qui pourrait provoquer la mort des cellules superficielles ou des mutations dans les cellules moins directement exposées.

C'est pourquoi la pigmentation de la peau est beaucoup plus importante chez les populations qui vivent sous un climat où le rayonnement solaire est intense que chez les populations vivant dans des régions moins ensoleillées où, au contraire, l'exposition au rayonnement ultraviolet est utile. En effet, la lumière solaire catalyse dans la peau la transformation de l'ergostérol en vitamine D, indispensable à la formation et à la croissance des os.

On assiste à un « ajustement » progressif de la pigmentation, tel que la quantité de rayonnement absorbé soit optimale pour la production de la quantité voulue de vitamine D. Le milieu exerce, en outre, une influence importante pour la persistance ou la disparition des mutations génétiques. Prenons le cas de la thalassémie, affection caractérisée par une déformation des globules rouges : cette maladie héréditaire provoquée par une mutation exerce une influence très défavorable sur l'évolution de la population atteinte, car les individus homozygotes (c'est-à-dire possédant en double le gène responsable) meurent jeunes et les hétérozygotes (qui n'ont qu'un gène muté) présentent un aspect (hypertrophie des os crâniens) et une faiblesse de constitution physique qui font que les femmes les épousent moins volontiers ; aussi sont-ils condamnés à s'éteindre. En revanche, dans les endroits infestés par le paludisme, les individus hétérozygotes atteints de thalassémie présentent une immunité à l'égard du paludisme ; ainsi, la mutation génétique responsable de la thalassémie tend à se perpétuer.

On peut s'attendre en tout cas à des discussions passionnées entre biologistes au sujet de l'influence du milieu sur les êtres vivants. En U.R.S.S., le problème a même pris une dimension politique avec l'affaire Lyssenko. En France, certains biologistes ont tenté de moderniser le lamarckisme : ainsi, selon P. Wintrebert, le gène pourrait être assimilé à un anticorps qui réagirait à l'égard du milieu.

SYMBIOSE ET COMMENSALISME

La nature nous offre de nombreux exemples d'organismes d'espèces différentes, parfois même très éloignées dans la classification, qui s'associent afin de tirer un avantage réciproque de leur vie commune et de réaliser ainsi les conditions optimales d'existence. Parfois, cette association est tellement intime que l'on considère ces organismes comme formant un tout indépendant : il en est ainsi pour les lichens.

Dans certains cas, un seul des deux organismes tire profit de cette association, tandis que le second n'en éprouve ni avantage ni inconvénient.

Précisons que lorsque l'association se révèle avantageuse pour les deux partenaires, on parle de mutualisme, *ou symbiose véritable ; lorsque l'association se réduit à l'utilisation commune des ressources alimentaires, à l'avantage de l'un des organismes mais sans lésion pour l'autre, elle prend le nom de* commensalisme ; *lorsque, enfin, il s'agit uniquement de l'utilisation simultanée du même espace d'habitation, ce phénomène prend le nom de* neutralisme.

Citons encore un dernier type de symbiose connu sous l'appellation de symbiose physiologique héréditaire. *Il s'agit d'une forme de symbiose qui associe certains animaux avec des Champignons et des Bactéries et qui se réalise par l'intermédiaire des œufs de l'animal.*

SYMBIOSE ENTRE VÉGÉTAUX

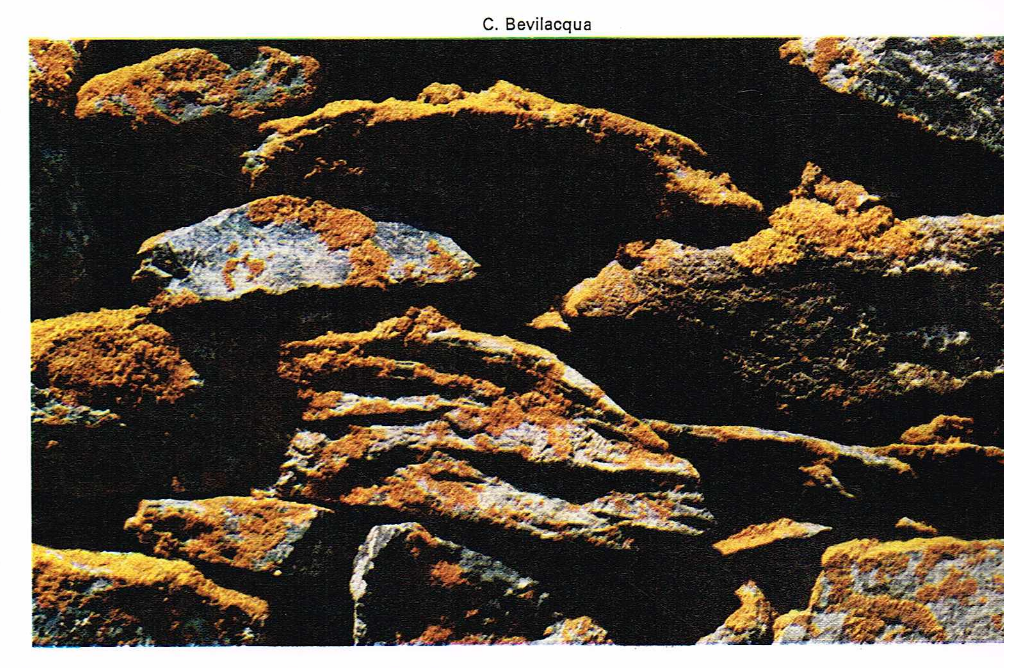
En premier lieu, la symbiose peut se réaliser entre deux végétaux différents, comme dans le cas des lichens ou des mycorhizes, organismes mixtes formés de la symbiose entre Champignons et racines d'orchidées ou de certains arbres ; dans d'autres cas, il s'agit de l'association d'une plante supérieure et d'une Bactérie, comme cela se produit entre les racines des légumineuses et la Bactérie Rhizobium.

Le cas des lichens est le plus typique : ils sont formés de l'association d'une Algue verte (Chlorophycée), ou parfois bleue (Cyanophycée), et d'un Champignon, habituellement un Ascomycète : les deux partenaires tirent un avantage réciproque de leur cohabitation. L'Algue est protégée par le Champignon, qui l'enveloppe et lui fournit de l'eau, ce qui lui permet de se développer plus activement que si elle était libre.

Les lichens se rencontrent sur les murs, les écorces des arbres, les rochers, et même le verre. En Laponie, ils constituent la nourriture principale des rennes. On extrait de certains des colorants.

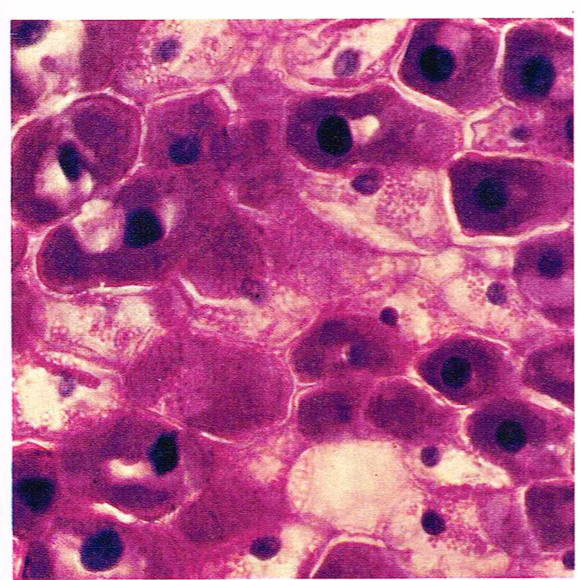
Ces curieux organismes sont extrêmement résistants, notamment vis-à-vis du froid et de la dessiccation. Aujourd'hui cependant, ils souffrent de la pollution.

C. Bevilacqua



Les lichens constituent l'exemple le plus classique de symbiose entre deux végétaux ; ils sont formés par l'association d'une Algue et d'un Champignon.

Cellules des nodosités (sortes de tubercules sur les racines) d'une légumineuse ; outre le cytoplasme et le noyau, on voit, dans de nombreuses cellules, les Bactéries symbiotes *(Rhizobium leguminosarum)* fixatrices d'azote (× 350 × 1,5, coloration de contraste).



P. Castano

SYMBIOSE ENTRE VÉGÉTAUX ET ANIMAUX

Les cas de symbiose entre végétaux et animaux sont également très nombreux : rappelons les associations symbiotiques de certaines Algues unicellulaires, zoochlorelles et zooxanthelles, avec des Protozoaires (amibes, radiolaires, etc.), des Spongiaires, des Cnidaires et d'autres animaux.

Les Algues, par le jeu de l'assimilation chlorophyllienne, fournissent des substances nutritives à l'hôte qui accepte leur présence. Et n'oublions pas les Bactéries qui vivent dans l'intestin de certains animaux et qui, loin d'être pathogènes, s'avèrent d'une grande utilité pour l'animal. Ainsi, la « flore » bactérienne du tube digestif de l'homme comprend de très nombreuses espèces, dont beaucoup présentent une utilité certaine pour la fonction digestive.

Un cas singulier de symbiose existe entre un Insecte diptère du genre Phorbia, *dont les larves vivent dans les pommes de terre, et une Bactérie qui produit une sorte de moisissure. La Bactérie vit dans l'intestin du Diptère, donc en contact avec ses excréments ; au moment de la ponte, les œufs de l'Insecte, souillés d'excréments, entraînent la Bactérie qui se fixe sur la*

pomme de terre et, grâce à la moisissure qu'elle produit, la rend comestible pour les larves à peine écloses.

Un autre exemple de symbiose nous est offert par les Insectes xylophages qui possèdent dans leur tube digestif des Bactéries capables de rendre digestibles certaines substances; sans les Bactéries, celles-ci ne pourraient être utilisées par l'Insecte.

Rappelons, enfin, que les phénomènes de luminescence de certains Poissons et de quelques Céphalopodes semblent être dus à la présence de Bactéries symbiotiques, qui produisent des substances luminescentes ou phosphorescentes.

ASSOCIATIONS ENTRE ANIMAUX

Les associations entre animaux sont infiniment nombreuses et variées. C'est ainsi que les fourmilières et les termitières hébergent, en plus de leurs hôtes normaux, des locataires plutôt insolites. Un curieux Reptile sans pattes, l'amphisbène, les occupe régulièrement, d'où son nom de « roi des fourmis ».

Il existe de même des araignées dites myrmécophiles (amies des fourmis) et termitophiles : certaines sont aveugles. Les redoutables fourmis légionnaires ont pour commensaux des Coléoptères du groupe des staphylins, qui présentent un stupéfiant mimétisme morphologique : ils ressemblent à s'y méprendre aux fourmis... Ils ont une tête étroite aux longues antennes, un corps effilé et des pattes allongées. Ces staphylins sont très bien tolérés par les fourmis.

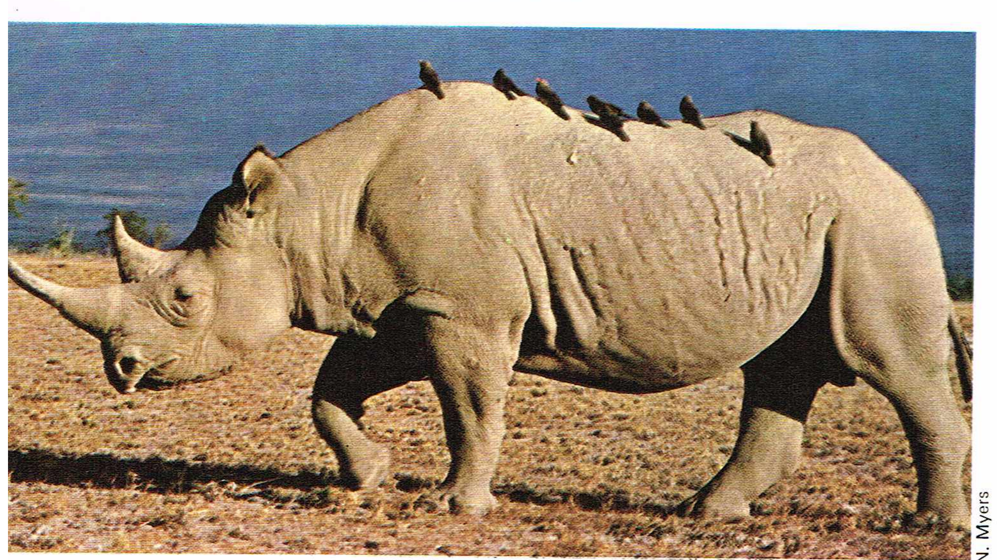
Les Oiseaux nous offrent de non moins curieux exemples d'associations. Ainsi, les moineaux domestiques, les populaires « pierrots », nichent souvent dans les branchages des nids de cigogne, de héron ou même de grand rapace. On a aussi vu des mésanges nidifier dans un nid d'épervier...

Une telle confiance s'explique doublement. D'abord, les rapaces ne chassent pas dans leur territoire de nidification; ensuite, ils constituent une excellente force de dissuasion à l'égard des prédateurs tentés de s'attaquer aux Oiseaux.

Diverses espèces de perruches, perroquets, pics et martins-pêcheurs nichent dans des nids de guêpes, fourmis ou termites occupés par leurs hôtes. Les Insectes, là encore, supportent très bien la présence des Oiseaux, même si ceux-ci les gobent parfois. De telles cohabitations s'observent dans toutes les régions tropicales, de l'Amérique à l'Australie. Certains Oiseaux ne nichent même que sur des nids d'Insectes.

Autre association très curieuse, et encore mal élucidée : celle qui unit un petit Poisson marin, l'amphiprion, à une actinie ou anémone de mer. C'est un spectacle visible dans certains aquariums, par exemple au Palais de la découverte à Paris.

Ce rhinocéros porte sur son dos des buphages ou pique-bœufs, sortes d'étourneaux qui le débarrassent de ses parasites.


N. Myers


Bruce Coleman - J. Burton

Les termites parviennent à « digérer » d'énormes quantités de bois grâce à la présence dans leur tube digestif de Bactéries ou de Protozoaires spécialisés.

L'amphiprion est encore appelé poisson-clown, en raison de sa livrée bigarrée, jaune avec deux bandes blanches. Il demeure presque constamment au voisinage de son « actinie » : il se frotte à ses tentacules, qui sont pourtant urticants.

Comment donc l'amphiprion résiste-t-il au venin de sa partenaire? On suppose que sa peau est enduite d'un mucus, qui viendrait d'ailleurs de l'actinie elle-même; à force de la caresser, le Poisson finirait par s'en recouvrir.

L'association est bénéfique aux deux espèces. L'amphiprion paraît manger les déjections de l'anémone de mer; en contrepartie, il la nettoie des déchets qui la couvrent et la défend même contre les tortues de mer.

Toujours dans le monde marin, de petits crabes vivent à l'intérieur des coquilles de moules : on en trouve parfois en les dégustant.

Revenons aux Vertébrés supérieurs pour découvrir des associations parfois très subtiles.

A Bornéo, une perdrix à huppe rouge, le roulroul, vit en compagnie d'un sanglier. Elle court autour de ce vorace porcin et profite des morceaux de fruit qui tombent de sa gueule pendant sa mastication : elle prend même des morceaux sur ses lèvres et se pose quelquefois sur son dos... Les roulrouls servent aussi de sentinelles au sanglier et suppléent à sa vue médiocre.

Des Oiseaux africains, apparentés aux pics, doivent à leurs mœurs extraordinaires les noms d'indicateurs et de guide-miel. Ils mangent la cire des abeilles sauvages — ce qui est déjà insolite — mais ne sont pas capables de fracturer leurs nids. Aussi ont-ils mis au point, au cours de leur évolution, un procédé astucieux.

L'indicateur commence par repérer un ratel, sorte de blaireau au pelage blanc dessus et noir dessous, et attire son attention par des cris. Pour comprendre l'intérêt de l'opération, il faut savoir que le ratel a un furieux faible pour le miel...

Ensuite, volant d'arbre en arbre, l'indicateur guide le carnivore vers un nid d'abeilles, principalement par ses cris, car il est presque toujours hors de la vue du ratel. Arrivé au but, celui-ci saccage le nid pour en dévorer le miel, puis l'indicateur mange la cire et les larves qu'il convoitait.

Cette association est l'une des plus poussées du monde animal : le ratel répond d'ailleurs à l'Oiseau par des grognements. L'indicateur s'est aussi adapté aux hommes et les conduit de même vers les abeilles. Les Hottentots prennent les devants, en signalant leur présence à l'Oiseau.

Mais comment sont apparus, au cours de l'évolution, tous ces phénomènes de symbiose, de commensalisme, de cohabitation? Dans la plupart des cas, il est bien difficile de répondre...

LES MÉTAMORPHOSES

La formation d'un nouvel individu se fait, dans le règne animal, selon des modalités très diverses. La reproduction sexuée, *qui fait intervenir deux cellules germinales, les gamètes, est la plus répandue. Les gamètes, mâle et femelle, fusionnent en une cellule unique, l'œuf ou zygote. A peine formé, le zygote commence à se segmenter, c'est-à-dire à se diviser en de nombreuses cellules qui formeront les tissus et les organes de l'individu adulte.*

L'œuf peut donner naissance à un embryon assez semblable à l'adulte, ou bien à un embryon de forme très différente de l'adulte; dans ce dernier cas, le nouvel organisme s'appelle larve.

Le passage de l'état larvaire au stade adulte est appelé métamorphose; *le phénomène de la métamorphose, dont les modalités et les stades sont très divers, se rencontre dans des groupes très éloignés les uns des autres, comme les Plathelminthes (vers plats), les Crustacés (écrevisse, crabe), les Insectes (abeilles, papillons, etc.), les Amphibiens (grenouilles, etc.).*

LA GRENOUILLE

La métamorphose de la grenouille est la plus facile à suivre car ses larves, ou têtards, sont très répandues dans les petits ruisseaux, les petites mares et les lacs, bien qu'il soit rare de pouvoir assister à leur développement complet. La grenouille pond dans l'eau où elle dépose une très grande quantité d'œufs. Ceux-ci sont réunis par une substance gélatineuse et se présentent sous forme de grappes. La conservation de l'espèce exige que les œufs soient pondus en très grand nombre, car les petits qui en sortiront sont des proies faciles pour les prédateurs.

Lorsque le temps est favorable, les œufs fécondés commencent à se segmenter; au quatrième jour, l'embryon, devenu désormais une larve, commence à bouger dans l'œuf; au cinquième-sixième jour, l'œuf se fend et en sort le têtard, long d'environ 1 mm : celui-ci présente des organes déjà assez bien différenciés. En effet, si on l'observe à la loupe, on peut distinguer la bouche, les yeux et des appendices latéraux, qui sont les ébauches des branchies.

Commence alors la vie libre de la larve; très rapidement, celle-ci s'accroît, sa tête devient plus grosse et la queue s'allonge. Vers le treizième-quatorzième jour, les poumons sont formés et, par conséquent, les branchies externes régressent, et sont remplacées par des branchies internes protégées par un opercule.

Au bout d'un mois, la croissance se ralentit et lorsque l'animal a atteint la longueur de 6-7 cm, les pattes sont parfaitement développées (les postérieures poussent avant les antérieures), mais la queue persiste toujours, plus longue que le corps, haute et étroite : elle sert à l'animal pour nager. A partir de ce moment commence la résorption progressive de la queue et, au quatrième mois, la larve ressemble à un adulte en miniature, chez lequel les poumons ont remplacé les branchies internes.

Cette longue période de transformations semble reproduire la lente évolution qu'ont subie les organismes vivants en passant du milieu aquatique au milieu terrestre, voici environ 300 millions d'années.

De nombreux spécialistes pensent que l'embryogenèse, c'est-à-dire le développement de l'embryon, représente un « résumé » de la phylogenèse (ou évolution des espèces). Le passage de la grenouille de l'état larvaire à l'état adulte s'effectue sous le contrôle d'une hormone sécrétée par la glande thyroïde de l'animal; au cours de ce processus on assiste à la disparition de certains organes, comme les branchies et la queue, et à l'édification d'organes nouveaux, les membres et les poumons. Le processus de destruction s'appelle histolyse.

Comme on le voit, lors du passage de la vie aquatique à la vie amphibie, les organes qui ne sont plus nécessaires à l'organisme adulte pour vivre dans le nouveau milieu sont remplacés par d'autres.

I. Bucciarelli



Ci-dessus : tous les Insectes que l'on désigne communément sous le nom général de guêpes appartiennent, en réalité, à de nombreuses espèces d'Hyménoptères vespidés (sur la photo : *Polistes gallicus*). Comme tous les Insectes, elles sont le résultat de métamorphoses plus ou moins complexes qui débutent dans l'œuf.



I. Bucciarelli



I. Bucciarelli

Ci-dessus : deux moments de l'éclosion d'une libellule, *Ischnura elegans*, qui nous permettent de voir comment l'Insecte abandonne la dépouille à l'intérieur de laquelle s'est opérée sa métamorphose.

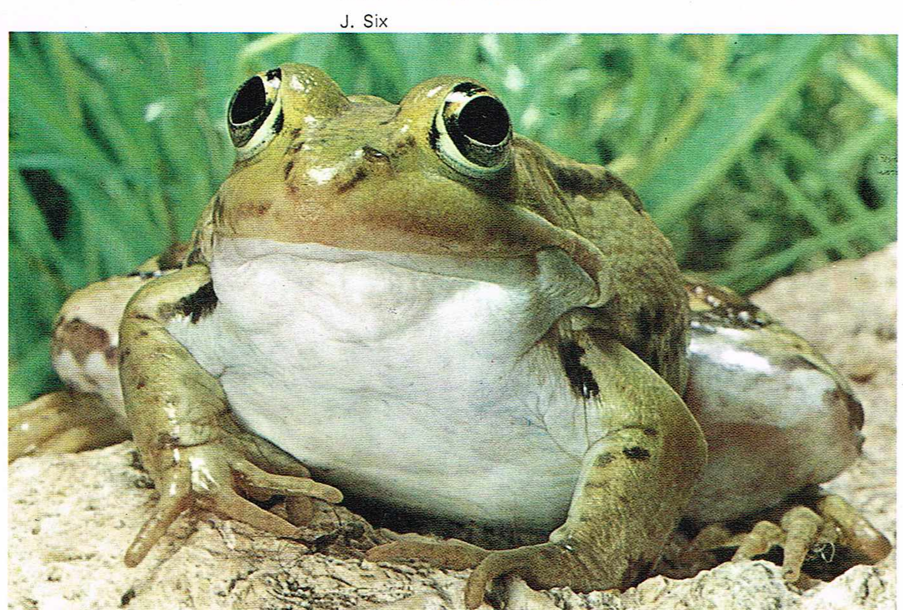
LES PLATHELMINTHES

Certains Plathelminthes parasites nous offrent un exemple d'évolution des formes larvaires différente de celle des têtards. Les larves de ces vers vivent non pas libres mais sont parasites d'autres animaux et ne peuvent se développer qu'en présence de ces derniers. De nombreuses espèces sont des parasites de l'homme et d'autres Vertébrés. La grande douve, par exemple, est un Trématode qui, à l'état adulte, vit en parasite dans les canalicules biliaires du mouton. Ses œufs, expulsés en même temps que les excréments du mouton, se développent dès que le hasard les met en présence d'eau. L'embryon donnera une première larve appelée miracidium. *Cette larve peut être avalée par un « escargot d'eau », la limnée; de l'appareil digestif de ce petit Mollusque, elle ira se fixer dans sa cavité pulmonaire, puis dans son hépato-pancréas, qui est une grosse glande digestive.*

Là, la larve grandit et se transforme en un organisme différent, appelé rédie. *Puis, à la suite d'une autre transformation, celle-ci se transforme en une* cercaire. *Celle-ci est capable de se déplacer librement dans l'eau et abandonne la limnée pour passer sur les feuilles de plantes qui poussent près de l'eau (surtout du cresson),*

Les Amphibiens (sur la photo : grenouille verte, *Rana esculenta*) subissent eux aussi des métamorphoses dans lesquelles on peut reconnaître trois étapes : œuf, têtard, adulte.

J. Six



où elle s'enkyste, c'est-à-dire s'entoure d'une coque destinée à la protéger contre les agressions du milieu. Elle demeurera ainsi jusqu'à ce qu'un autre mouton l'avale avec les feuilles, lui donnant la possibilité de se « réveiller » de cet état de vie latente et d'achever son cycle : elle atteint alors l'état adulte, parvient à la maturité sexuelle et se reproduit. Les œufs émis entament alors un nouveau cycle.

Le ver solitaire ou Taenia se développe à travers trois états larvaires; la viande de porc infestée peut le transmettre à l'homme.

LES INSECTES

Chez les Arthropodes, et notamment chez les Insectes, le développement indirect est très répandu, mais on observe également toutes les situations intermédiaires jusqu'aux formes de développement presque direct; ces dernières sont dites amétaboles *(sans métamorphoses), tandis que les formes aux métamorphoses les plus complètes sont dites* holométaboles*; il existe des degrés intermédiaires.*

On sait que les Insectes pondent un grand nombre d'œufs, lesquels, dans un milieu favorable, se développent pour donner un embryon plus ou moins complet; c'est ici que commence la vie de la forme larvaire. Le milieu, notamment la température et l'humidité, joue un rôle déterminant dans le développement des larves : les grandes invasions d'Insectes, de criquets notamment, si néfastes pour les cultures, sont dues précisément aux conditions particulièrement favorables de certaines années. Les larves d'Insectes sont généralement de grandes dévoreuses de feuilles et, plus généralement, de matières organiques, qu'elles émiettent à l'aide de leurs puissantes mandibules.

Les abeilles sont des Insectes sociaux par excellence; une seule femelle, la reine, qui se distingue par sa grande taille, assure la reproduction. Elle est fécondée une seule fois durant toute sa vie, qui dure en moyenne quatre ans, au cours du vol nuptial. Elle pondra des œufs depuis le moment de sa fécondation jusqu'à sa mort; ces œufs qui sont déposés dans des cellules construites par les ouvrières, qui sont des abeilles stériles.

Au bout de quatre jours environ, naît une petite larve, vermiforme, qui mange les provisions contenues dans la cellule et attend d'être nourrie. L'existence de soins parentaux constitue une différence importante par rapport aux formes de vie larvaires que nous avons vues précédemment. La petite larve s'accroît sans subir de mues, de telle sorte que vers le sixième ou septième jour son corps remplit toute la cellule.

C'est à ce moment que les ouvrières qui la nourrissaient rabattent avec leurs mandibules les bords de la cellule et scellent la fermeture à l'aide d'une sécrétion cireuse. Les cellules ainsi fermées ne sont pas abandonnées, mais sont en quelque sorte « couvées », puisque les ouvrières les recouvrent à tour de rôle. Pendant ce temps, à l'intérieur des cellules, les larves s'entourent d'un mince voile soyeux et subissent une première métamorphose qui les transforme en nymphes, caractérisées par la présence d'une ébauche d'ailes. Au vingt et unième jour, l'Insecte présente les caractères de l'adulte. Sitôt née, l'abeille « s'ébroue » et est nettoyée par les nourrices qui continuent de l'alimenter; dès qu'elle est capable de se mouvoir (au bout de 2 ou 3 heures), elle se mêle aux autres abeilles et commence immédiatement à travailler.

LARVES EN TOUS GENRES

Les larves des Insectes sont extrêmement variées d'allures. Les plus connues sont, bien sûr, les chenilles des papillons, parfois vivement colorées ou alors poilues et urticantes. Et il y a encore les asticots des mouches, les larves coureuses de certains Coléoptères, le ver blanc du hanneton, les larves aquatiques des libellules, etc.

Et l'on n'en finirait pas de citer tous les types de larves du monde animal, de la planula des cnidaires au leptocéphale de l'anguille. Celle-ci est en effet l'un des rares Poissons à présenter des métamorphoses : son leptocéphale, à l'allure de feuille transparente, avait d'abord été pris pour une espèce particulière. Une telle erreur, bien excusable, est survenue plusieurs fois dans les annales de la zoologie.

LOCOMOTION ET MOUVEMENTS CHEZ LES ANIMAUX

Les formes de vie « mobiles » se rencontrent tant dans le règne végétal que dans le règne animal. Les mécanismes locomoteurs les plus simples sont ceux des organismes unicellulaires : chez les Phytoflagellés (végétaux) et les Zooflagellés (animaux), le déplacement de la cellule (qui constitue à elle seule l'organisme) est obtenu par les battements du ou des flagelles dont ils sont pourvus. De la même manière, les Ciliés (Protozoaires) se déplacent dans l'eau en agitant les cils dont ils sont partiellement ou totalement couverts.

La locomotion de l'amibe (Amoeba proteus), *Protozoaire d'eau douce, est encore plus élémentaire. L'amibe émet des pseudopodes, qui ne sont que des expansions de la cellule ; lorsqu'un pseudopode a atteint un point solide, il s'y accroche et entraîne toute la cellule.*

Chez les organismes pluricellulaires, la locomotion s'effectue selon des modalités multiples. Chez les lombrics, ou vers de terre, le déplacement s'effectue selon un mécanisme fort simple. Le ver contracte quelques segments de la portion antérieure de son corps, ce qui entraîne le décollement des segments situés immédiatement derrière ; ceux-ci, libérés partiellement du frottement contre le sol, se contractent à leur tour, entraînant les segments situés en arrière.

Ainsi, une onde de contraction traverse tout le corps. Les petites soies que l'on remarque sur le corps de l'animal servent à le maintenir ancré au sol, au niveau des anneaux antérieurs, afin que ceux-ci ne glissent pas au moment de la contraction des anneaux suivants. La sangsue, ver appartenant également aux Annélides, se déplace en prenant appui sur le sol par son extrémité antérieure pourvue d'une ventouse et en tirant tout le corps qui s'incurve, et rapproche son extrémité postérieure, également pourvue d'une ventouse.

LA LOCOMOTION CHEZ LES INVERTÉBRÉS

Bien qu'ils soient dépourvus de véritables membres, de nombreux Invertébrés présentent une locomotion très active. Les méduses, par exemple, se déplacent en expulsant de l'eau de leur ombrelle, ce qui, par réaction, provoque une poussée. Le déplacement de la seiche (Sepia officinalis) *et de la pieuvre ou poulpe* (Octopus vulgaris) *est de même fondé sur le principe de la réaction : l'eau est expulsée avec force de la cavité du manteau. Le mouvement est facilité, chez la seiche, par de petites expansions du manteau, ou nageoires latérales, et, chez le poulpe, par des tentacules capables de se contracter. Les calmars vont si vite qu'ils décollent parfois de la surface de la mer...*

Les Gastéropodes marins se déplacent généralement comme les Gastéropodes terrestres, dont l'escargot nous fournit une illustration : il glisse sur le sol à l'aide de son pied musculeux qui présente des ondes de contraction assez semblables à celles du lombric, pied qui est « lubrifié » par une sécrétion muqueuse. Les Lamellibranches, c'est-à-dire les Mollusques à coquille bivalve, sont également pourvus d'un pied ; ils s'en servent non pour glisser, mais plutôt comme d'un levier, ce qui les fait avancer en sautillant. Leurs déplacements sont faibles, mais suffisants pour leurs besoins.

Le mode de déplacement des oursins est tout à fait singulier : leurs « pieds ambulacraires » s'accrochent aux substrats comme autant de ventouses dans un mouvement de succession rapide qui fait avancer l'animal. Ces pieds, répartis sur tout le corps, comportent à leur base des ampoules qui permettent d'en régler la longueur. Des piquants, dont un grand nombre sont articulés sur le squelette externe des oursins, servent de point d'appui

Bruce Coleman - J. Burton



Les Primates possèdent des membres dont les aptitudes au mouvement sont très proches de celles de l'homme ; de plus, l'opposabilité du pouce et du gros orteil permet au singe de se servir des pieds comme des mains.



Bruce Coleman - H. Schultz

Bien qu'ils possèdent un squelette osseux, les serpents (ci-dessus : un boa du Brésil), dépourvus de membres, rampent sur le sol et grimpent sur les arbres par des mouvements de contorsion de leur corps allongé.

rigide contre le substrat et concourent ainsi à la réalisation du mouvement.

LA LOCOMOTION CHEZ LES ARTHROPODES

Les Arthropodes présentent des membres articulés, constitués schématiquement des segments suivants : coxa, trochanter, fémur, tibia, tarse *et* prétarse*; chaque segment ressemble à un tube creux formé d'épiderme sclérosé, à l'intérieur duquel sont logés des muscles moteurs. Quelques saillies internes, appelées apodèmes, permettent l'insertion des muscles. Les membres sont utilisés comme des leviers.*

Il est intéressant d'observer comment se déplacent les Crustacés. Squilla mantis, *appelée communément cigale de mer, possède des membres abdominaux étalés dont elle se sert comme de rames à plat sur l'eau pour obtenir une poussée en avant. Les écrevisses présentent un mécanisme de marche analogue à celui que l'on retrouve chez les Arthropodes terrestres. Le corps de l'animal est maintenu soulevé de terre par les pattes abdominales qui, en même temps, assurent la locomotion : pour réaliser le mouvement, le corps n'est soutenu que par quelques pattes, tandis que les autres s'avancent sur le substrat.*

Parmi les Arachnides, les araignées nous offrent l'exemple le plus remarquable de coordination, notamment celles qui chassent à l'affût. L'une d'elles se met aux aguets, avance très précautionneusement en tenant la tête baissée le plus possible, puis, arrivée près de la proie, elle bondit soudainement et attrape la mouche par ses pattes antérieures, tout en lui injectant du venin dans la tête pour l'immobiliser. Ensuite elle revient tranquillement vers son nid en se soulevant le plus possible sur les pattes afin de mieux transporter sa proie.

LA LOCOMOTION CHEZ LES VERTÉBRÉS

Selon les milieux dans lesquels les Vertébrés se déplacent, on distingue les modes de locomotion suivants : dans l'eau, la nage; sur la terre ferme, la reptation, la marche, la course, le saut; dans l'air, le vol.

Si l'on regarde nager un Poisson dans un bassin d'eau de faible profondeur, on note que son mouvement est sinueux : il avance en contractant les muscles latéraux du tronc, et l'onde de contraction parcourt alternativement le flanc droit et le flanc gauche. La poussée est proportionnelle à la longueur du corps et au nombre d'ondes de contraction. Les nageoires symétriques des Poissons servent uniquement pour des déplacements de faible amplitude et jouent surtout un rôle dans le maintien de l'équilibre du corps.

Si l'on excepte le cas des serpents, la locomotion terrestre des Vertébrés est réalisée surtout à l'aide des mouvements des membres. Il est aisé d'étudier le mouvement des serpents en observant un Reptile de désert; les empreintes laissées sur le sable montrent que le principe de déplacement est identique à celui des Poissons : les ondes de contraction parcourent le corps, qui, dans ce cas, prend appui sur le sable.

On retrouve ce mouvement ondulatoire chez les salamandres (Amphibiens urodèles) et les lézards (Reptiles). En effet, ces animaux se déplacent également grâce à des mouvements ondulatoires du tronc, les pattes antérieures et postérieures ne servant que de points d'appui. Dans l'exécution du mouvement, les ceintures pectorale et pelvienne (bassin) subissent un mouvement d'inclinaison de sens opposé : lorsque la courbure du corps tourne sa concavité vers la droite, la ceinture scapulaire s'incline vers la droite et la ceinture pelvienne vers la gauche; à la phase suivante du mouvement, c'est l'inverse qui se produit. Il s'ensuit que les pattes antérieures et postérieures se déplacent selon un mouvement alterné : la patte antérieure droite et la patte postérieure gauche avancent simultanément, et, au mouvement suivant, il en est de même pour la patte antérieure gauche et la patte postérieure droite.

A cause de la rapidité du mouvement, cette alternance de phases n'est guère perceptible chez les lézards, mais on peut parfaitement l'observer chez les Mammifères. Ces derniers, à la différence des Reptiles et des Amphibiens, ont leur tronc décollé du sol et, par conséquent, la reptation du ventre n'intervient pas dans la réalisation du mouvement. Si l'on observe un Mammifère d'en haut, on remarque parfaitement les oscillations en sens inverse des ceintures scapulaire et pelvienne.

La différence essentielle par rapport aux mouvements des Reptiles qui rampent sur le ventre réside dans le fait que les membres ne servent pas seulement de point d'appui, mais aussi, du moins en ce qui concerne les membres postérieurs, de propulseurs. Lorsqu'un Mammifère marche au pas, le temps durant lequel les membres reposent sur le sol est de loin supérieur à celui durant lequel ils sont soulevés; une accélération importante du rythme ambulatoire transforme la marche en course (trot ou galop).

Celle-ci se caractérise par une augmentation considérable du temps durant lequel les membres sont décollés du sol. Un des temps de la course voit les quatre membres décollés simultanément; dans le cas du galop, l'animal prend appui alternativement sur les membres antérieurs et postérieurs. De rares Mammifères, tels les ours, marchent l'amble; ils déplacent alternativement leurs pattes de droite, puis celles de gauche.

La station debout des bipèdes a déterminé la spécialisation de la partie terminale du membre postérieur ou inférieur (c'est-à-dire le pied), qui supporte entièrement le poids du corps. L'homme est le seul bipède véritable : les singes sont quadrupèdes; seuls, certains, comme les gibbons, peuvent effectuer quelques pas debout.

La marche de l'homme se caractérise elle aussi par une inclinaison du bassin lorsque la jambe gauche est soulevée et inversement; l'atténuation de l'oscillation est due à la flexibilité du pied. C'est d'abord le talon qui appuie sur le sol, puis toute la plante du pied et ensuite le corps se soulève en prenant appui sur la pointe du pied et surtout sur le gros orteil : cette dernière phase du mouvement s'accompagne d'une poussée en avant du corps.

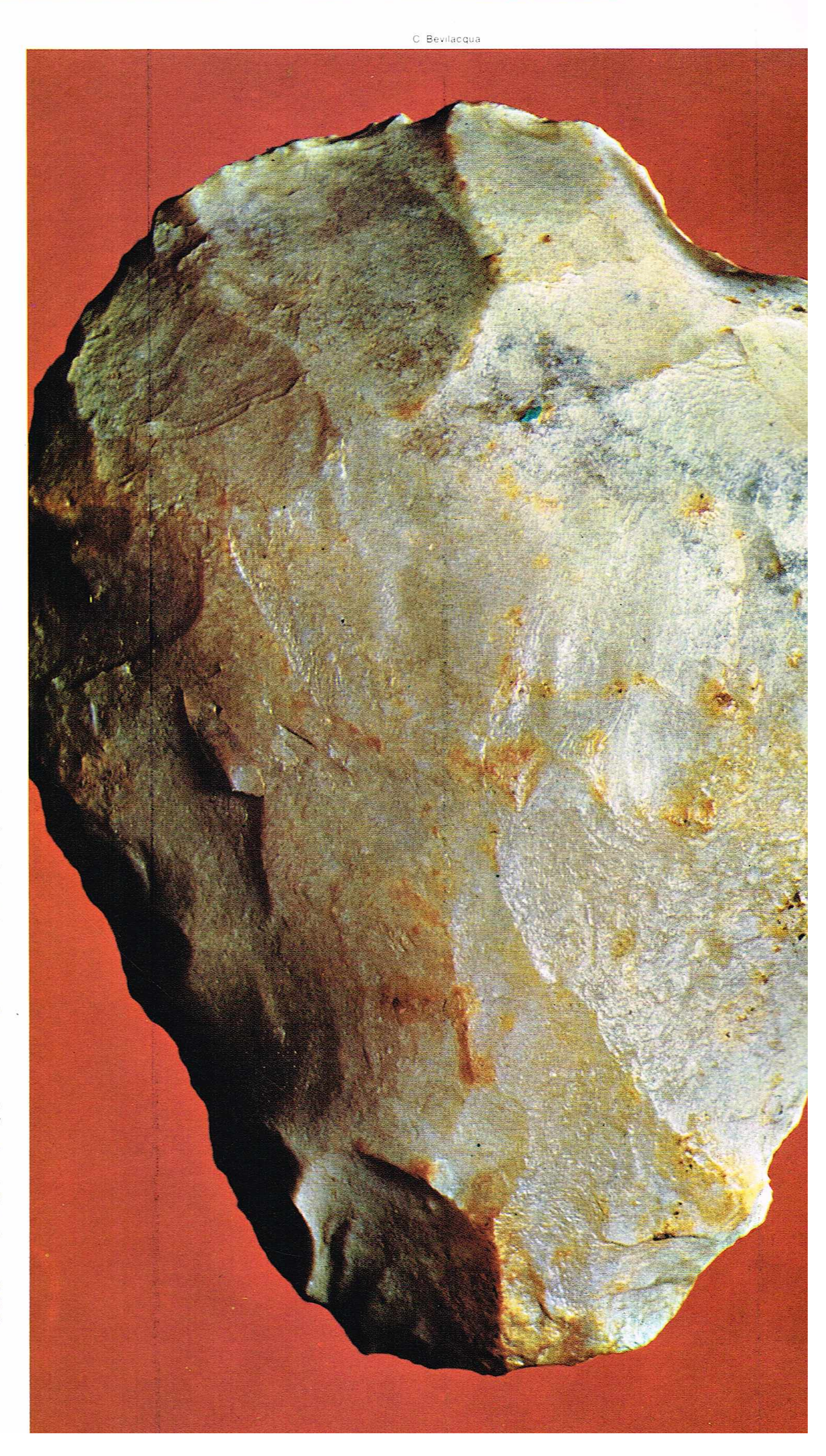
Un certain nombre des Mammifères se sont adaptés à la vie aquatique, et particulièrement les Pinnipèdes (phoques), les Siréniens (lamantin) et les Cétacés. Ils ondulent dans le sens vertical, bien que quelques-uns, comme la loutre, puissent se tordre en tire-bouchon.

La marche des Oiseaux est variable suivant les groupes. Leurs membres antérieurs sont, comme chacun sait, transformés en ailes. A moins qu'elles n'aient régressé, comme chez l'autruche et les manchots, elles permettent à la plupart de voler admirablement.

Le vol des Oiseaux est beaucoup étudié. L'aile se déplace dans un fluide, l'air, et subit de sa part une poussée : celle-ci est la résultante de deux forces distinctes, une force ascensionnelle et une force de résistance à la progression. Normalement, le vol de l'Oiseau est battu : l'aile effectue un mouvement tournant autour de l'épaule; d'abord presque verticale, elle s'abaisse vers l'avant et le bas, pour ensuite repartir vers l'arrière.

L'HOMME PRÉHISTORIQUE

C. Bevilacqua



L'homme n'a acquis son aspect actuel qu'à travers une longue et complexe série de transformations évolutives commencée à l'ère tertiaire et appelée l'hominisation.

Un ordre de Mammifères primitifs, les insectivores, représentés de nos jours par les taupes et les hérissons, donne naissance aux primates. Le « chaînon » intermédiaire devait avoir l'allure des actuelles musaraignes arboricoles de l'Asie du Sud-Est.

Les premiers primates furent des parents des lémuriens que nous connaissons aujourd'hui, à Madagascar surtout. Ensuite se différencièrent les singes, dont l'évolution aboutit aux anthropomorphes : gorille, orang-outan et chimpanzé.

Cependant, la paléontologie nous révèle qu'au cours du Miocène et du Pliocène, plusieurs types de primates présentent une évolution qui les situe sur la lignée de l'homme. Leurs canines se réduisent; leur arcade dentaire s'arrondit. Il s'agit de l'oréopithèque d'Italie, du ramapithèque d'Eurasie, du kényapithèque africain et de l'énorme gigantopithèque asiatique.

LES AUSTRALOPITHÈQUES

Le plus intéressant de ces primates est le kényapithèque, car il est vraisemblablement l'ancêtre des australopithèques. Ceux-ci sont les premiers véritables hommes. Leur nom rappelle qu'ils ont d'abord été trouvés en Afrique australe (et non en Australie); à l'époque, ils étaient considérés comme des singes (pithêkos en grec) *; aujourd'hui, on tend à les appeler plutôt australanthropes* (anthrôpos *signifie homme*).

Au cours des dernières décennies, de nombreux australopithèques ont été découverts en Tanzanie, au Kenya et en Éthiopie par les missions des paléontologistes anglais L. Leakey et français Y. Coppens.

Plusieurs types peuvent en être distingués. L'australopithèque robuste avait une mâchoire puissante et de fortes molaires, bien aptes à briser les fruits et les graines dont il devait faire son menu. Il mesurait 1,50 m.

L'australopithèque gracile était plus petit (1 à 1,20 m); ses dents latérales, moins développées, trahissent un régime davantage omnivore. Ces deux primates vécurent entre 10 et 2 millions d'années avant notre ère.

En leur compagnie, vers 3 millions d'années, apparaît un « troisième homme », l'Homo habilis, *encore plus proche de nous. Haut de 1,30 m, il avait une capacité cérébrale de 800 cc (contre 550 cc seulement chez les australopithèques); sa bipédie est plus parfaite.*

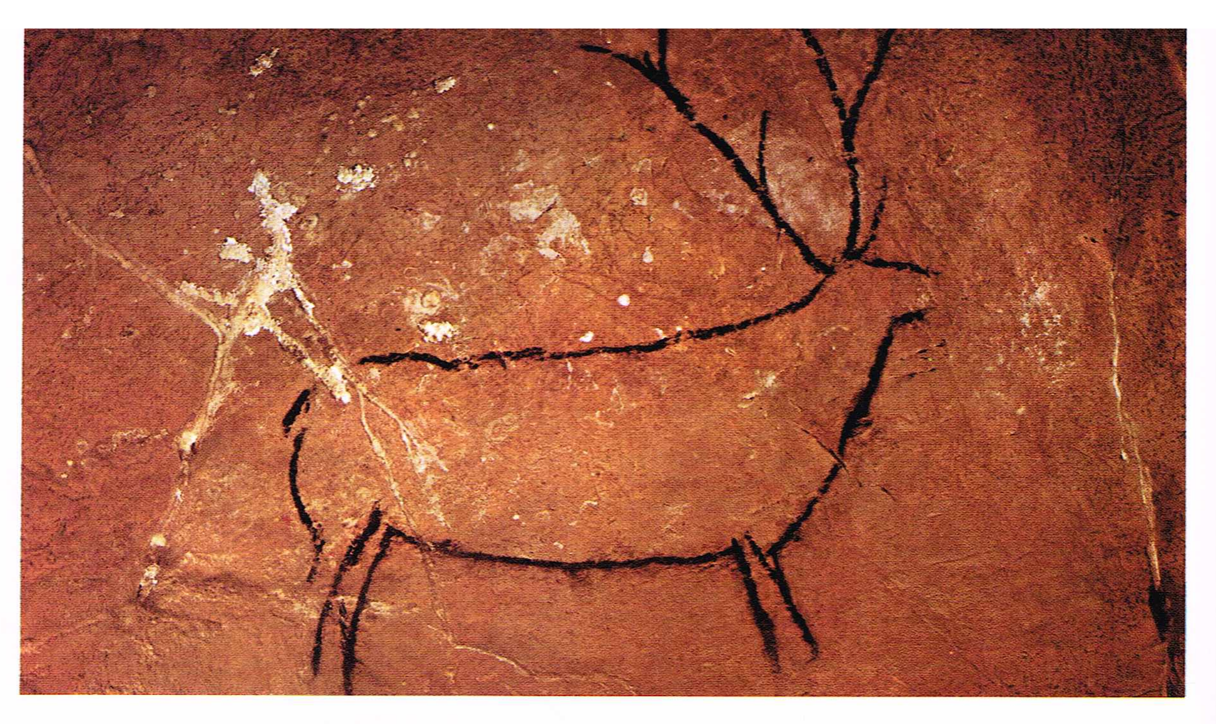
Si ces primates sont considérés comme des hommes, c'est parce qu'ils sont les auteurs de la plus ancienne « industrie » connue : des outils en pierre ou en os taillés, découverts dans la vallée de l'Omo en Éthiopie. C'est aussi chez eux qu'apparaît la chasse.

L'HOMO ERECTUS

Australopithèques et Homo habilis *constituent donc la première étape de l'humanité. La seconde correspond à l'*Homo erectus, *l'homme à station parfaitement érigée, inventeur du feu.*

Il a peuplé, au cours du dernier million d'années, diverses régions d'Europe, d'Afrique et d'Asie. Les principaux représentants de cette espèce sont le pithécanthrope de Java, le sinanthrope de Chine, l'atlanthrope

Ci-contre : silex taillé du type biface (c'est-à-dire taillé sur ses deux faces), à la fois arme et instrument de travail de l'homme préhistorique (musée d'Histoire naturelle, Vérone).





C. Bevilacqua

Ci-dessus : exemple de l'art pictural du passé ; époque préhistorique : cerf en style III (vers 1500 av. J.-C.), incision de la grotte de Las Chimeneas.

A gauche : instrument de travail de la période magdalénienne, servant d'un côté de burin, de l'autre de grattoir (musée d'Histoire naturelle, Vérone).

d'Algérie, l'homme du Mauer ou de Heidelberg (Allemagne), celui de Tatavel (France), etc.

*De taille moyenne ou grande (1,60 à 1,80 m), l'*Homo erectus *avait un squelette assez semblable au nôtre, mais son crâne conservait des caractères primitifs : arcades sourcilières en visière ; allongement de la boîte crânienne (dolichocéphalie), prognathisme (mâchoires qui « avancent »), etc. Sa capacité crânienne était de 850 à 1 200 cc.*

L'HOMO SAPIENS

*L'*Homo erectus *est l'ancêtre de l'*Homo sapiens, *l'homme « qui sait » (plutôt que l'homme sage), espèce à laquelle nous appartenons. Elle est apparue voici peut-être une centaine de milliers d'années, après avoir été précédée par des types intermédiaires.*

Certains des Homo sapiens *fossiles étaient assez différents de nous : ils constituent une race particulière, l'homme de Néanderthal, du nom du site allemand où a été trouvé leur premier représentant. Jusqu'à une date récente, cet homme de Néanderthal était considéré comme une espèce particulière : on considère aujourd'hui que c'est simplement un cas extrême de la marge de variation des* Homo sapiens.

Il a peuplé tout l'Ancien Monde : en France, le célèbre homme de la Chapelle-aux-Saints (Corrèze) appartient à ce type.

Les caractéristiques principales des Néanderthaliens sont : un crâne aplati et allongé, un front fuyant se terminant par une « visière » supra-orbitaire très saillante, une face très large aux pommettes aplaties, un nez et des orbites très larges. Les dents sont semblables à celles de l'homme d'aujourd'hui, à l'exception des molaires, beaucoup plus grandes ; le thorax est étroit et profond, et le bassin étroit et long. La capacité crânienne était déjà importante et variait de 1 400 à 1 730 cc, tandis que la taille était d'1,60 m environ.

L'homme de Néanderthal a officiellement disparu, sans doute plus tardivement qu'on ne croit. Pourtant, la découverte aux États-Unis en 1968 d'un homme velu conservé congelé par un forain fait penser que cette race pourrait subsister, dans des secteurs peu connus d'Asie. Cette trouvaille alimente en tout cas de vives discussions parmi les spécialistes.

*Quant à l'*Homo sapiens *proprement dit, il a conquis peu à peu la terre entière. Il a atteint l'Amérique, par l'Asie, voici quelque 50 000 ans. Au cours de la préhistoire, il s'est différencié en plusieurs types, nommés pour la plupart d'après les sites français où ont été découverts les premiers spécimens.*

Les caractéristiques communes aux types de Combe-Chapelle, Grimaldi et Cro-Magnon sont : un crâne étroit de grande capacité (jusqu'à 1 590 cc), une face haute et étroite, une taille moyenne, un bassin haut et étroit, semblable à celui de certaines populations noires actuelles. Les types de Brno et Predmost, en revanche, ont une taille plus élevée (1,67 m chez l'homme) et un crâne dolichocéphale d'environ 1 500 cc, 100 cc de moins que le crâne du type Chancelade retrouvé en Dordogne et appartenant à un individu de sexe masculin de petite taille, avec une face large, des pommettes saillantes, des orbites hautes et des arcades sourcilières à peine marquées. La capacité crânienne peut atteindre 2 000 cc chez notre espèce.

VERS L'HISTOIRE

On constate chez les Homo sapiens *fossiles une nette évolution culturelle, comme l'atteste leur coutume d'ensevelir les morts en même temps que des objets d'ornement et des objets symboliques ; ils croyaient sans doute à la survie de l'esprit et avaient l'habitude de placer à côté du mort des vases contenant de l'ocre rouge, qui, d'après eux, était destinée à redonner de la couleur au corps comme si le sang y circulait encore.*

Ces hommes nous ont laissé des vestiges intéressants de leur art : ce sont des signes symboliques dessinés à côté de figures humaines se rapportant probablement à des rites magiques destinés à favoriser la chasse ou la fécondité.

Certaines de leurs œuvres d'art, comme les fresques rupestres de Lascaux (Dordogne) et d'Altamira (Espagne), sont justement célèbres. Ces hommes peignaient à l'aide de matières variées : ocres, limonites, hématites, oxydes de manganèse, etc.

Les périodes auxquelles vécurent tous les types humains que nous avons évoqués constituent le Paléolithique. De 4000 à 2000 av. J.-C., c'est le Néolithique qui lui succède. Il est caractérisé par les débuts de la culture des céréales, de la poterie, du tissage, du polissage de la pierre. Les hommes délaissent les grottes pour se grouper en villages, parfois sur pilotis. La domestication des animaux, déjà commencée au Paléolithique, avec le chien, le mouton et la chèvre, s'amplifie avec la conquête de nouvelles espèces à travers le monde. C'est aussi l'âge des mégalithes : menhirs et dolmens.

En définitive, les hommes passent alors d'une économie « prédatrice », caractérisée par la chasse, la pêche, la cueillette et le ramassage, à une économie de production, reposant sur l'agriculture et l'élevage : c'est la révolution néolithique.

L'ensemble du Paléolithique et du Néolithique constitue la préhistoire.

Au Néolithique fait suite la protohistoire ou âge des métaux, qui comprend successivement le Chalcolithique, marqué par l'apparition du cuivre, l'âge du bronze et enfin l'âge du fer. Ensuite, c'est l'histoire qui commence.

LES RACES HUMAINES

La notion de race a, au cours des siècles, alimenté de nombreuses discussions, qui durent encore. On s'est demandé en combien de races il fallait diviser l'espèce humaine actuelle, l'Homo sapiens, pour, finalement, en arriver à contester la notion même de race.

Il est certes manifeste que les représentants de notre espèce ne sont pas tous semblables extérieurement : un Norvégien, par exemple, est fort différent d'un Pygmée africain.

Toutefois, si l'on considère les populations qui habitent les régions comprises entre la Scandinavie et le Congo, il apparaît que des intermédiaires existent entre ces deux types extrêmes.

LA NOTION DE RACE

De plus, à notre époque, les facilités de déplacement et les immigrations ont accéléré les métissages, c'est-à-dire les unions entre deux individus de races différentes. Aussi trouverait-on fort difficilement des représentants des « races pures » sur lesquelles les racistes avaient échafaudé leurs théories.

Néanmoins, pour des raisons de commodité, on continue à admettre qu'il existe des races humaines. Celles-ci sont généralement réparties en quatre « grand-races » : la grand-race australoïde, la grand-race blanche, la grand-race jaune et la grand-race noire.

Nous allons, dans cet article, décrire les différentes races qui se rangent dans les deux premières de ces grand-races, réservant les Jaunes et les Noirs pour le prochain article.

La grand-race australoïde ne comprend que quelques dizaines de milliers de sujets, localisés en Australie et en Asie méridionale. Cette grand-race possède des caractères qui la situent assez nettement à l'écart des autres : front fuyant, arcades sourcilières très fortes, racine du nez enfoncée. La peau est brune, les cheveux ondulés, le crâne généralement allongé.

Cette grand-race comprend trois races : la race australienne correspond aux aborigènes d'Australie ; la race tasmanienne, un peu différente, est éteinte depuis 1877 ; la race vedda enfin, aux cheveux longs et de petite taille, est surtout représentée par les Vedda de Ceylan et quelques petites populations dispersées de l'Inde aux Célèbes.

DES NORDIQUES AUX AÏNOUS

La grand-race blanche a évidemment une répartition beaucoup plus vaste : l'Europe, l'Asie occidentale et l'Afrique du Nord surtout. Au cours des temps historiques, elle s'est répandue à travers le monde, dans les deux Amériques notamment.

Elle comprend de nombreuses races. La race nordique peuple le nord de l'Europe, de la Flandre à la Scandinavie ; elle est de grande taille, avec des cheveux clairs et des yeux bleus ou gris. Plus au nord est localisée la race lapone, de petite taille, à peau jaunâtre, corps trapu et crâne large. La race alpine est répandue non seulement dans les Alpes, mais aussi à l'ouest jusqu'en Bretagne et à l'est jusqu'en Ukraine. Elle se caractérise par une taille plutôt faible, une peau assez sombre, des cheveux bruns, un crâne élargi.

La race est-européenne ou est-baltique occupe une grande partie de la Russie d'Europe, de la Finlande et de la Pologne. Elle a la peau claire, le crâne large, les pom-

T. Poggio



Les différentes populations se distinguent entre elles par leurs usages particuliers et leurs traditions vestimentaires. La photo montre une femme en costume de la région de Banat (village de Chizatan, en Roumanie).



Australian News and Information Bureau

Australiens durant une cérémonie rituelle.

mettes proéminentes. Les Balkans sont le domaine de la race dinarique à tête haute et long nez; son crâne est large avec l'occiput plat; sa pilosité est forte.

L'Asie Mineure, le Caucase, le Liban sont peuplés par la race anatolienne ou arménoïde. Elle a le crâne élargi, le visage allongé, le nez très long à racine remontant jusqu'au front. Les Kurdes s'y rattachent, ainsi qu'une partie des Juifs.

La race méditerranéenne occupe de vastes surfaces dans le sud-ouest de l'Europe et le nord de l'Afrique. Elle constitue à elle seule un ensemble assez complexe, dont les caractères généraux sont une peau assez pigmentée, des cheveux noirs et ondulés, un nez droit et saillant. Le crâne est de forme variable, le plus souvent allongé.

On distingue dans cette race trois types principaux. La « sous-race » ibéro-insulaire occupe l'Espagne, le sud de la France, la Grèce; c'est elle qui montre le fameux profil grec. La sous-race atlanto-méditerranéenne a presque la même répartition; elle est plus robuste; les Basques en font partie. La sous-race saharienne, qui correspond aux Touareg, est de taille plus élevée que les précédentes.

Rentrent encore dans la race méditerranéenne : les Guanches des Canaries disparus; les Arabes et Berbères du Maghreb; les Égyptiens, dont le type physique n'a pas varié depuis l'époque pharaonique, etc.

La race touarienne est répandue en Asie centrale; elle comprend les Turkmènes, les Kirghiz, les Tadjiks, etc. Elle a le crâne large et des pommettes saillantes; les yeux étirés la rapprochent des jaunes.

La race sud-orientale occupe le Proche-Orient. Elle englobe les Sémites, c'est-à-dire une grande partie des Juifs et les Arabes d'Arabie, Jordanie, Yémen, etc. Apparentée à la race méditerranéenne, elle est plus grande avec la peau plus sombre.

L'Iran, l'Afghanistan, dans le nord de l'Inde, sont le domaine de la race indo-afghane, à peau très claire et cheveux ondulés. Elle correspond vaguement aux anciens « Aryens » et paraît être à l'origine des Tziganes.

Enfin, la race aïnou se situe géographiquement très à l'écart des autres races blanches, puisqu'elle occupe uniquement l'île d'Hokkaïdô. C'est une race de faible taille, trapue, à pilosité assez forte et au crâne large. On estime que ces Blancs japonais sont les survivants d'une population blanche qui aurait jadis peuplé la Sibérie.

EXPANSION ET RACISME

Il peut être intéressant de voir plus en détail le cas de la France. Sa population est un mélange de Nordiques, d'Alpins et de Méditerranéens. Les premiers dominent dans le Nord, la Normandie, l'Alsace, la région parisienne; les seconds, dans les Alpes, les Ardennes, le Massif central, la Bretagne; les derniers, dans les régions méridionales. Des Dinariques peuvent se rencontrer en Savoie.

Comme nous l'avons dit, des représentants de ces diverses races à l'état pur sont rarissimes, voire inexistants. Plus récemment et dans des proportions limitées, se sont ajoutés à la population française des éléments arménoïdes (Juifs), sud-orientaux (Juifs), méditerranéens (Arabes), indo-afghans (Tziganes), etc.

Depuis l'époque coloniale, les Blancs se sont massivement installés dans diverses régions du monde. Au Canada et dans la plus grande partie des États-Unis, les Nordiques sont dominants; au Canada français, les Alpins sont les plus nombreux. Dans le sud des États-Unis, les immigrants sont les plus variés : Méditerranéens, Est-Européens, Arménoïdes, Sud-Orientaux (Israélites), Dinariques.

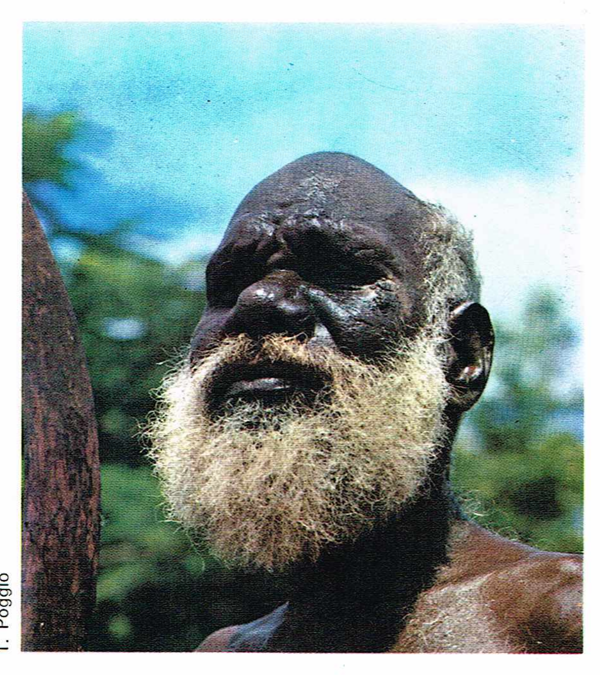
En Amérique latine, il s'agit essentiellement de Méditerranéens, à savoir des Espagnols et des Portugais. Les Nordiques constituent la majorité des immigrants en Australie, Nouvelle-Zélande et Afrique australe. Dans certaines régions, et notamment en Amérique du Sud, les colonisateurs blancs se sont métissés avec les populations indigènes.

La notion de race blanche, on le sait, a été abusivement exploitée par les théoriciens racistes. Déjà, les anciens Grecs considéraient les autres peuples comme des « barbares » et interdisaient toute union avec eux. Par la suite, le racisme s'intensifia lors de la conquête de l'Amérique par les Espagnols : les massacres d'Indiens provoquèrent une réaction courageuse de la part du missionnaire B. de Las Casas.

En 1853, J. de Gobineau publiait son Essai sur l'inégalité des races humaines*; à l'aide d'arguments pseudo-scientifiques, il cherchait à prouver que toutes les qualités étaient réunies chez d'antiques habitants de la Perse, les Aryens. Ses théories furent reprises par les nazis qui assimilèrent ces prétendus Aryens aux Allemands et à la race nordique.*

On sait à quoi aboutirent ces thèses que condamnent formellement tous les anthropologistes.

Vieil aborigène d'Australie.



T. Poggio

LES RACES HUMAINES

Après les grand-races australoïde et blanche, objets de notre précédent article, la troisième grand-race est la grand-race jaune. Ses principaux caractères sont la peau jaune ou brunâtre, les yeux souvent bridés, les cheveux noirs et lisses, les pommettes saillantes, le nez large. Répandue en Asie orientale, dans toute l'Amérique et dans de nombreuses îles du Pacifique, la grand-race jaune est évidemment divisée en nombreuses races.

LA GRAND-RACE JAUNE

La race nord-mongole comprend les Toungouses, Samoyèdes, Kalmouks, etc., du nord de l'Asie, de taille assez petite et au crâne large. La race centro-mongole est plus grande et a le crâne moins large : elle inclut une bonne partie des Chinois, Tibétains, Birmans, ainsi que les Coréens.

La race sud-mongole, petite et au crâne de forme intermédiaire entre les précédentes, occupe aussi la Chine méridionale, avec un débordement sur l'Indochine (Khmers, Thaïs, etc.) et le Japon : les Japonais descendent d'envahisseurs venus d'abord d'Indonésie, puis de Corée et de Chine; ils s'apparentent surtout aux Sud-Mongols.

La race paléosibérienne se divise en deux populations, l'une à l'ouest de la Sibérie, et l'autre à l'est; elles sont séparées par la race nord-mongole. Ses caractères « jaunes » sont peu marqués; la taille est petite.

L'Amérique arctique, de l'Alaska au Groenland, est le domaine de la race esquimaude, de petite taille, aux fortes mâchoires, au crâne de forme variable. Les Jaunes d'Amérique, Esquimaux et Amérindiens, sont tous originaires d'Asie : ils ont gagné l'Amérique en passant de Sibérie en Alaska.

La race amérindienne — les « Indiens » d'Amérique — s'est ainsi répandue du Canada à la Terre de Feu. Elle présente des caractères variés qui nécessitent sa division en plusieurs sous-races. La sous-race nord-atlantique, assez grande, comprend les Iroquois et les Sioux, qui ont fait rêver nos imaginations d'enfants; la sous-race nord-pacifique correspond aux Indiens des montagnes Rocheuses; ceux d'Amazonie, Jivaros par exemple, forment la sous-race sud-atlantique; la sous-race sud-pacifique est constituée par les descendants des Aztèques et des Mayas. Enfin, deux autres sous-races correspondent aux Patagons et aux Fuégiens de la Terre de Feu, qui sont en voie de disparition.

Également diversifiée, la race indonésienne peuple le Sud-Est asiatique. Ses caractères « jaunes » sont atténués : les yeux sont peu bridés, les cheveux ondulés, la taille petite, le crâne large. Indonésiens, Malais, Philippins font partie de cette race, de même, sans doute, que les Mois du Vietnam. Bon nombre de Malgaches se rattachent plus ou moins à cette race, qui a jadis envahi Madagascar.

La race polynésienne enfin est aussi une race jaune « atténuée » : elle a une grande taille, la peau brunâtre, le visage ovale. Si les jolies vahinés de Tahiti en sont les représentantes les plus connues, cette race comprend aussi les Maoris de Nouvelle-Zélande, les habitants des Hawaii, de l'île de Pâques, etc.

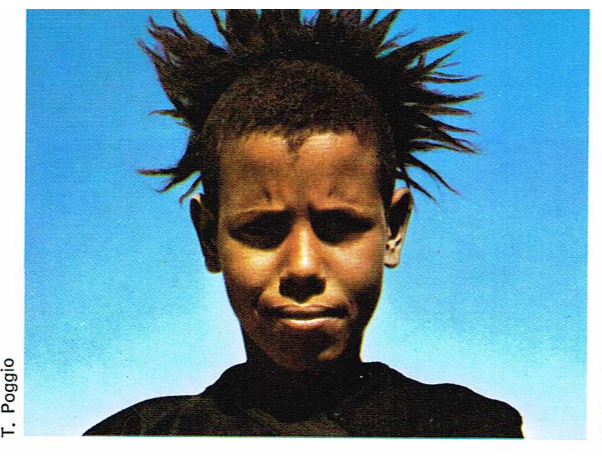
LA GRAND-RACE NOIRE

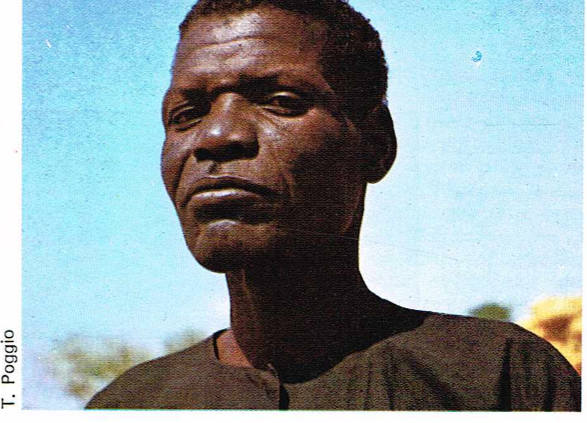
Quatrième grand-race : la grand-race noire. Elle habite l'Afrique tropicale et diverses régions d'Asie méridionale et d'Océanie. Son caractère le plus marquant est évidemment sa pigmentation foncée, mais elle présente aussi

M. Leigheb



Groupe de cavaliers et danseurs « djerma », du territoire du Niger, exemples de type négroïde.





Ci-dessus, à gauche : enfant d'une tribu nomade du Niger septentrional. A droite : jeune homme de Serrère, dans le Sénégal. Ces deux exemples sont des spécimens de la grand-race noire.

souvent du prognathisme (autrement dit, des mâchoires qui « avancent ») et des lèvres épaisses.

La race mélano-africaine occupe presque toute l'Afrique au sud du Sahara; elle a les cheveux crépus et le nez épaté. On la divise en plusieurs sous-races. La sous-race soudanaise, répartie du Sénégal au Soudan, a les jambes longues : elle comprend les Saras, les Haoussas, les Ouolofs. La sous-race guinéenne, qui vit le long du golfe de Guinée, est plus trapue, avec les jambes plus courtes.

Les jambes sont au contraire très longues chez la race nilotique, de la vallée du Nil : c'est chez elle que l'on rencontre les plus grands hommes de la Terre : jusqu'à deux mètres. Localisée à l'Afrique centrale, la sous-race congolaise a un tronc robuste et une grande bouche. Enfin, la sous-race sud-africaine ou zambésienne comprend les Bantous, Cafres et Basoutos.

La race éthiopienne semble issue d'un ancien métissage entre Noirs et Méditerranéens : elle a la peau brune et le nez droit; elle ne montre pas de prognathisme. Elle occupe l'Éthiopie et les régions voisines; les Peuls, qui se sont répandus jusqu'à l'Atlantique, s'y rattachent.

Les Pygmées africains, localisés en divers points de l'Afrique centrale, forment la race négrille. Sa petite taille est évidemment son caractère principal (1,37 à 1,61 m) avec des membres inférieurs courts et un crâne large.

Plus au sud, la race khoisan réunit les Hottentots et les Boschimans d'Afrique australe, qui sont en quelque sorte intermédiaires entre les Noirs et les Jaunes. Des premiers, ils ont les cheveux crépus et le prognathisme; des seconds, la peau jaunâtre et les pommettes saillantes. La taille est faible. Les femmes présentent des fesses particulièrement adipeuses : cette stéatopygie a fait la célébrité de la « Vénus hottentote ».

La race mélano-hindoue habite l'Inde péninsulaire et Ceylan : ce sont les Dravidiens, aux cheveux bouclés et au prognathisme très réduit. Ils semblent apparentés aux Méditerranéens et aux Vedda.

Les Pygmées asiatiques constituent la race négrito, localisée à trois secteurs de l'Asie du Sud-Est : les Philippines, la Malaisie et les îles Andaman. Le prognathisme est peu marqué, le crâne un peu élargi.

Enfin, la race mélanésienne correspond aux Noirs d'Océanie : Papous de Nouvelle-Guinée, Canaques de Nouvelle-Calédonie, habitants des Fidji, des Nouvelles-Hébrides, etc. Ils ont les arcades sourcilières proéminentes, le crâne allongé, les cheveux abondants. La taille est variable : les Tapiros néo-guinéens sont des Mélanésiens pygmées.

LE MÉTISSAGE

Des Noirs habitent également les Amériques, mais seulement depuis la « traite des Noirs » : il s'agit de Noirs d'origine africaine qui constituent maintenant une bonne part de la population des États-Unis, des Antilles et du Brésil.

De nombreuses races ou sous-races sont actuellement en voie d'extinction. Les Tasmaniens ont déjà disparu. Bon nombre de ces populations en déclin se trouvent confinées dans des îles : Vedda de Ceylan, Négritos des Andaman, Fuégiens de la Terre de Feu, Aïnous d'Hokkaïdo.

Nous avons vu que le métissage avait une importance de plus en plus grande dans le monde moderne. Il semble avoir eu, au cours de l'histoire, une influence bénéfique : le contact de deux races, ou plus, a manifestement un effet catalyseur sur les qualités psychiques. Par exemple, les anciens Égyptiens étaient des Méditerranéens quelque peu teintés de sang asiatique; les Grecs — en dépit de leur aversion pour les « Barbares » — étaient métissés avec des Nordiques, des Alpins, des Sémites; les Arabes furent brassés avec des Noirs et des Espagnols.

Inversement, les races « pures » isolées, repliées sur elles-mêmes, ne tardent pas à montrer des signes de dégradation : ainsi, les squelettes des Vikings qui vécurent au Groenland, coupés du monde, dénotent, selon J. Ruffié, une grande pauvreté physiologique.

Ci-dessous, à gauche : un « Peau-Rouge » sioux, exemple de la diversité de la grand-race jaune.
A droite : les Esquimaux des régions arctiques du Canada appartiennent aussi à la grand-race jaune.





LE SYSTÈME CIRCULATOIRE

Tous les tissus de l'organisme humain doivent être approvisionnés de façon permanente en aliments et en oxygène; cela permet aux cellules qui les composent d'exercer leur activité métabolique, qui se traduit par la transformation des aliments fournis en constituants cellulaires et en énergie.

La fonction d'apporter à toutes les cellules l'oxygène et les aliments nécessaires est remplie essentiellement par le sang, qui irrigue toutes les parties de l'organisme, y compris les cellules les plus éloignées.

Le sang circule dans un système de vaisseaux qui s'étend dans toutes les parties du corps et dont le cœur, organe de propulsion de la circulation, est le point de départ.

De gros vaisseaux transportent une grande quantité de sang d'un point à l'autre de l'organisme (par exemple du cœur à la tête ou à l'intestin) : il s'en détache des ramifications plus ou moins nombreuses destinées chacune à irriguer des régions déterminées; ces ramifications se subdivisent à leur tour en rameaux de plus en plus fins, jusqu'aux terminaisons ultimes qui sont les capillaires sanguins, dont le diamètre ne dépasse pas parfois 7 microns (millièmes de millimètre). Le rôle des capillaires est de transporter le sang jusqu'au niveau des cellules.

STRUCTURE DES VAISSEAUX SANGUINS

Du point de vue de leur structure, les vaisseaux se divisent en deux grandes catégories : les artères, qui transportent du sang oxygéné du cœur aux différentes parties du corps, et les veines, qui ramènent le sang vers le cœur; notons cependant que les artères pulmonaires qui transportent du cœur vers les poumons le sang périphérique, donc appauvri en oxygène, ont elles aussi la structure des artères, de même que les vaisseaux qui transportent du sang oxygéné des poumons aux cœur, les veines pulmonaires, ont la structure typique des veines.

Les différences existant entre la structure des artères et celle des veines sont en rapport direct avec les fonctions différentes remplies par ces deux types de vaisseaux. Les artères reçoivent le sang envoyé par le cœur sous une certaine pression et le transportent vers les tissus. Les veines, en revanche, reçoivent le sang des capillaires artériels ou le recueillent au niveau des espaces tissulaires et, réunies en gros vaisseaux, le transportent vers le cœur; au cours de ce transport, le courant sanguin ascensionnel doit vaincre la force de pesanteur.

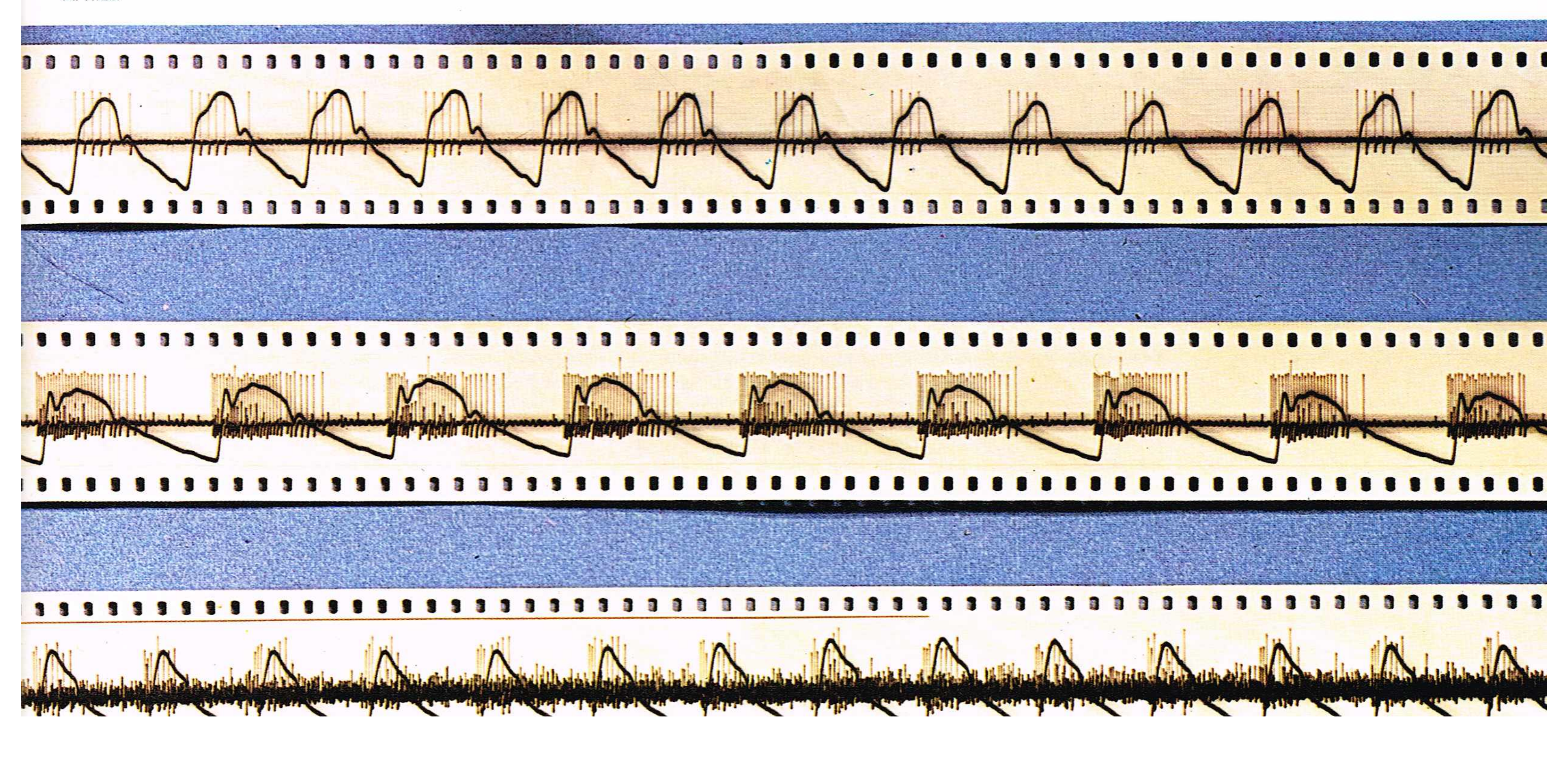
Cela est réalisé non plus par l'impulsion donnée au courant circulatoire par le « moteur » cardiaque ni par une contractilité propre des vaisseaux, mais par d'autres facteurs : mouvement des viscères et contraction des muscles adjacents, lois physiques de l'hydrodynamique, et enfin ouverture et fermeture de valvules spéciales.

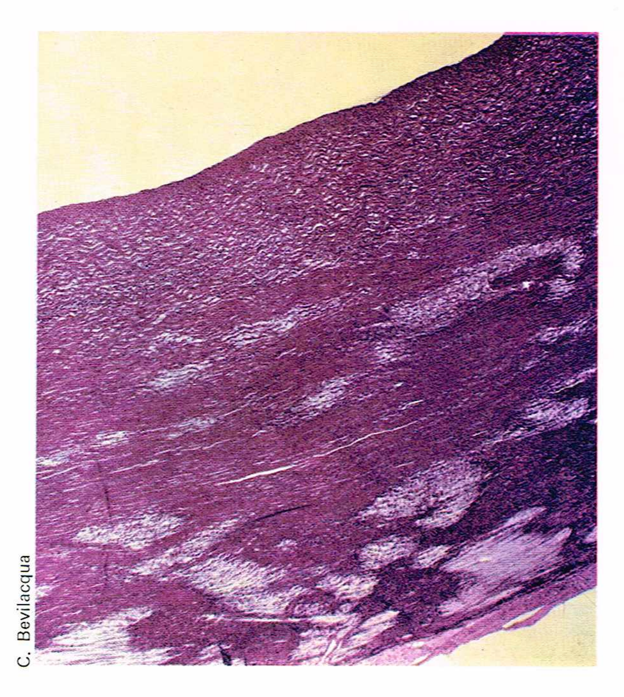
Les artères sont de gros vaisseaux élastiques et contractiles. Ils sont constitués de trois tuniques concentriques. La tunique externe, ou adventice, formée d'un tissu conjonctif riche en fibres élastiques. La tunique moyenne, ou média, beaucoup plus épaisse que la précédente, est composée de fibres élastiques et de fibres lisses : les proportions respectives de ces deux types de fibres varient en fonction du calibre de l'artère, les fibres élastiques étant beaucoup plus abondantes dans les artères de gros calibre, telle l'aorte, tandis que la média des artérioles ne comprend pratiquement que des fibres lisses. La tunique interne, ou intima, enfin, formée de tissu conjonctif élastique, est tapissée d'un endothélium (tissu fait de cellules aplaties), qui se trouve directement en contact avec le sang.

Les artères occupent toujours une position profonde dans le corps, ce qui les met à l'abri des chocs superficiels qui pourraient en provoquer la section : à cause de sa

Ci-dessous : graphes d'enregistrement des potentiels d'action du nerf de Héring et de la pression artérielle de l'artère fémorale.

A. Rizzi





C. Bevilacqua

Ci-dessus : fragment d'une coupe transversale de l'aorte montrant les trois tuniques qui en constituent la paroi (× 18 × 1,5, coloration de contraste).

structure, une artère sectionnée resterait béante, d'où risque d'hémorragie totale, favorisée par les pulsations artérielles.

La structure des veines n'est pas fondamentalement différente de celle des artères ; elle comporte aussi trois tuniques, mais celles-ci sont beaucoup plus minces que dans le cas des artères.

Les veines se présentent comme des vaisseaux dotés d'une paroi mince, presque transparente, de couleur bleuâtre ; elles sont beaucoup moins élastiques que les artères et infiniment moins contractiles ; quelques-unes sont très superficielles et parfaitement visibles.

A la différence des artères, dont la lumière, c'est-à-dire la cavité, est toujours libre, les veines présentent sur leur paroi interne des valvules, réparties par paires.

Ces valvules, qui présentent grossièrement la forme d'une poche, s'ouvrent pour laisser passer le flux sanguin et se referment ensuite rythmiquement afin d'empêcher que le sang ne reflue vers le bas, comme le voudrait la loi de la pesanteur.

LE CŒUR

Le cœur est un muscle creux divisé en quatre cavités : deux supérieures appelées oreillettes, deux inférieures, appelées ventricules. Chaque oreillette communique directement avec le ventricule correspondant par l'intermédiaire d'une valvule : la valvule tricuspide, à droite, la valvule mitrale, à gauche.

Les deux oreillettes et les deux ventricules ne communiquent pas entre eux, mais sont séparés par une cloison complète. Cette séparation se justifie par le fait que la partie gauche du cœur ne contient que du sang artériel, tandis que la droite contient uniquement du sang veineux.

Un mélange éventuel des deux sangs aurait des conséquences désastreuses, car le sang artériel recevrait les déchets véhiculés par le sang veineux.

Le cœur est le point d'arrivée des gros troncs veineux et le point de départ des gros troncs artériels qui iront se ramifier dans tout l'organisme. L'oreillette droite reçoit la veine cave supérieure et la veine cave inférieure, qui amènent le sang provenant de tout l'organisme ; du ventricule droit part l'artère pulmonaire, qui se divise immédiatement en deux branches, droite et gauche, qui portent le sang veineux aux poumons où il sera oxygéné ; l'oreillette gauche reçoit les veines pulmonaires, qui amènent le sang oxygéné provenant des poumons ; du ventricule gauche se détache l'aorte, qui portera le sang oxygéné dans tout l'organisme.

Le cœur est intérieurement tapissé par un endothélium et entouré extérieurement par le péricarde, sorte de sac formé de deux feuillets glissant l'un sur l'autre, dont la cavité virtuelle est remplie d'un liquide, le liquide péricardique.

Le feuillet externe de péricarde, fibreux, est solide, tandis que le feuillet interne, directement en contact avec le cœur, est une membrane séreuse (c'est-à-dire qui sécrète un liquide analogue à la lymphe).

GRANDE CIRCULATION ET VAISSEAUX PRINCIPAUX

La circulation sanguine débute au ventricule gauche, au moment où le sang est propulsé dans l'aorte. Immédiatement après sa sortie, l'aorte émet deux artères collatérales de calibre beaucoup plus réduit : les artères coronaires droite et gauche, qui assurent, par leurs ramifications, l'irrigation du muscle cardiaque.

Dans sa première portion, l'aorte forme un arc, l'arc aortique, qui lui permet d'enjamber la bronche gauche ; elle devient ensuite rectiligne et chemine parallèlement à la colonne vertébrale.

Du sommet de l'arc aortique se détachent, à gauche, la carotide gauche et la sous-clavière gauche, à droite, un court tronçon artériel, le tronc brachio-céphalique, qui se divise aussitôt en deux branches, la carotide droite et la sous-clavière droite.

Les artères carotides droite et gauche se divisent à leur tour chacune en deux branches, externe et interne, et vont irriguer les organes du cou et de la tête. Parmi les principales artères de ces régions, rappelons la branche frontale et la branche pariétale de la carotide externe et les artères occipitale, auriculaire, ophtalmique, maxillaire externe, sans oublier toutes les nombreuses artères cérébrales destinées au cerveau.

Les sous-clavières se dirigent vers les bras et prennent une nouvelle dénomination selon les régions qu'elles parcourent (artère humérale, cubitale, radiale, palmaire et artères collatérales pour les doigts).

Revenons à l'aorte et notons que, dans la portion thoracique de celle-ci, se détachent les artères intercostales, œsophagiennes et bronchiques, tandis que la partie abdominale donne naissance aux artères diaphragmatiques et au tronc cœliaque, qui se divise bientôt dans les artères gastrique, hépatique et splénique (qui va à la rate) ; au niveau de la quatrième vertèbre lombaire, l'aorte se divise dans les deux artères iliaques, se subdivisant à leur tour chacune en artère iliaque interne et artère iliaque externe, la première destinée aux organes du bassin, la seconde destinée aux membres inférieurs, où elles forment les artères fémorale, poplitée, tibiale, péronière, pédieuse, et collatérales des orteils.

A l'intérieur des différents organes, toutes ces artères donnent naissance à de nombreuses ramifications se terminant dans de très nombreux capillaires. Le système veineux reproduit assez fidèlement le système artériel. Les capillaires veineux se réunissent en veinules et celles-ci vont constituer des veines de calibre de plus en plus grand ; les veines sous-clavières, qui proviennent des membres supérieurs, et les veines jugulaires, provenant de la tête, se réunissent pour former la veine cave descendante qui aboutit à l'oreillette droite ; les veines iliaques, provenant des membres inférieurs, se réunissent pour former la veine cave ascendante, dans laquelle débouchent les veines mésentériques, rénales, hépatiques et la veine gastrique ; la veine coronaire draine la circulation du myocarde.

Il convient de réserver une mention particulière à la circulation porte, formée par les capillaires qui drainent le sang veineux, riche en substances nutritives, des parois intestinales et se réunissent pour former la veine porte qui aboutit au foie, où elle se résout à nouveau en un réseau de capillaires ; ceux-ci confluent pour former la veine sus-hépatique, qui se jette dans la veine cave ascendante.

Un mot, pour finir, à propos de la « petite circulation » : elle comprend les deux artères pulmonaires qui partent du cœur et aboutissent aux poumons, où elles se résolvent en un dense réseau de capillaires ; le sang veineux qu'elles ont véhiculé jusqu'aux poumons y subit l'oxygénation et est drainé par un nouveau réseau de capillaires, dont la réunion formera les veines pulmonaires qui ramènent le sang vers le cœur.

LE SYSTÈME LYMPHATIQUE

Le sang ne quitte normalement jamais le très dense réseau de capillaires dans lequel il circule et qui constitue un système rigoureusement clos : les échanges nutritifs s'accomplissent à travers la paroi très mince des capillaires. Le liquide qui en filtre, la lymphe, se rassemble dans les espaces qui séparent les vaisseaux des cellules et joue le rôle d'intermédiaire dans les échanges de matériaux entre le sang et les cellules. Celles-ci empruntent à la lymphe des matériaux et y rejettent leurs déchets.

Nous allons voir la structure du système lymphatique de l'homme. La lymphe est ensuite recueillie dans des culs-de-sac qui se trouvent dans ces espaces et qui constituent les origines des capillaires lymphatiques : ceux-ci convergent vers des vaisseaux dont le calibre augmente progressivement pour déboucher enfin dans deux canaux lymphatiques principaux, la grande veine lymphatique et le canal thoracique.

La grande veine lymphatique a un trajet court : elle recueille la lymphe provenant de la région de la tête, de la moitié droite du cou et du thorax, du bras droit, et se jette dans la veine sous-clavière droite, près de la confluence de celle-ci avec la veine jugulaire interne droite.

Le canal thoracique prend naissance d'une formation volumineuse, la citerne de Pecquet, qui se trouve dans la région abdominale ; il chemine au-devant de la colonne vertébrale et débouche dans la veine sous-clavière gauche, à la confluence de celle-ci avec la veine jugulaire interne gauche, après avoir drainé la lymphe provenant de toute la partie inférieure et de la partie gauche du corps.

Aboutissent également à la citerne de Pecquet, en cheminant sur le mésentère (repli du péritoine), tous les vaisseaux chylifères provenant des villosités intestinales et qui renferment la fraction grasse du chyle, le contenu liquide de l'intestin.

Les vaisseaux lymphatiques ne sont pas cylindriques mais noduleux, ou plutôt en forme de chapelet ; ils ont une paroi constituée de trois tuniques : la tunique externe, conjonctive ; la moyenne, élastique et musculaire ; et enfin l'interne, constituée par un endothélium, tissu aux cellules aplaties. Ces vaisseaux sont cloisonnés par de très nombreuses valvules, destinées à empêcher le reflux de la lymphe ; à la différence des vaisseaux sanguins, ils sont incolores.

LA LYMPHE

La lymphe est un liquide clair, opalin, capable de coaguler, mais plus lentement que le sang ; elle contient des protéines, des sels, des lipides, du cholestérol et des lécithines.

Cette composition est sujette à de nombreuses variations, dépendant du moment physiologique et de la partie du corps dont la lymphe provient : la lymphe provenant du foie, par exemple, contient 6 % de protéines, tandis que celle qui vient des membres n'en contient que 2 % ; la lymphe du canal thoracique présente, peu après les repas, un aspect laiteux, et elle est très riche en graisse.

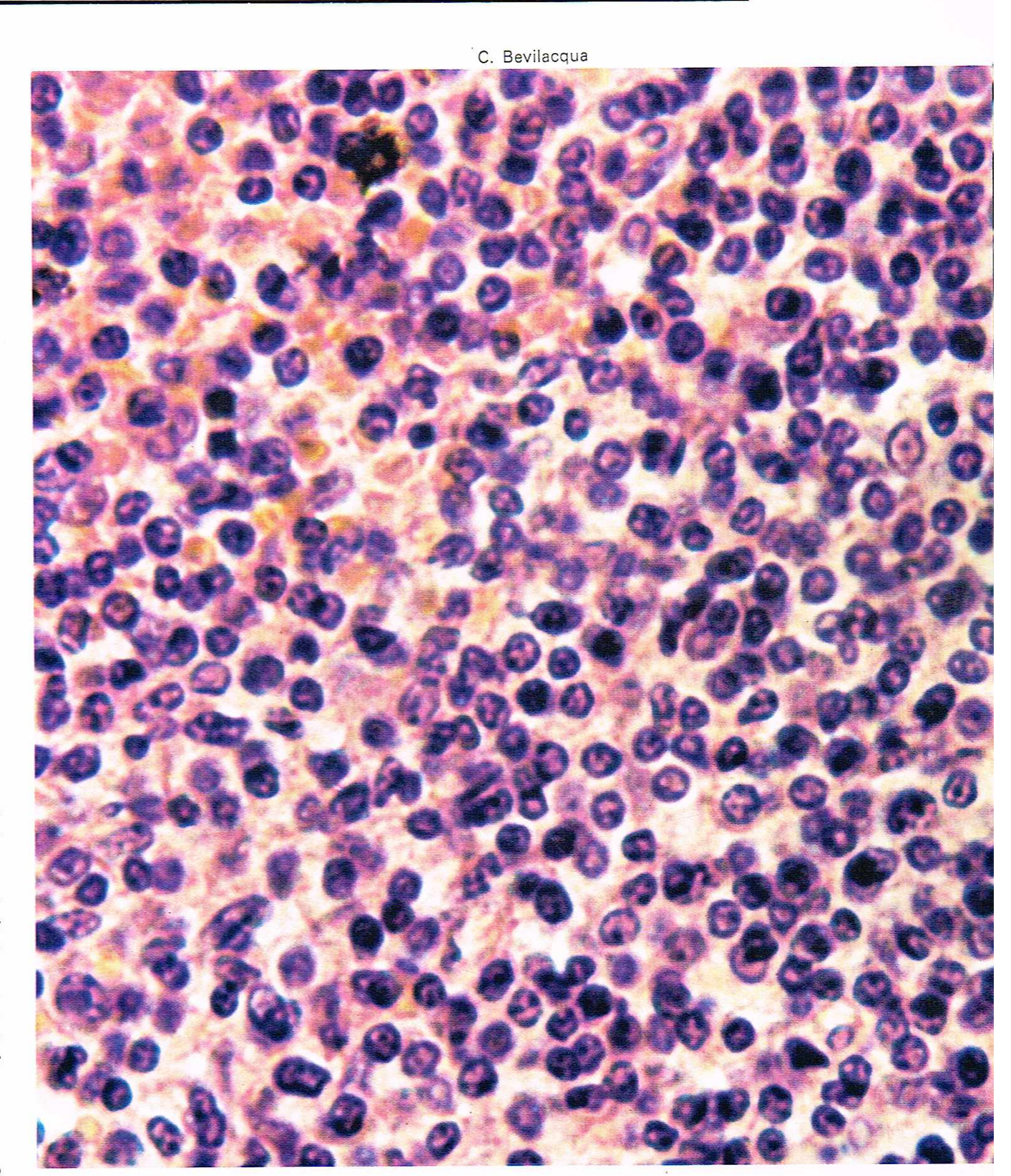
Toute la lymphe qui filtre à travers les capillaires sanguins n'est pas recueillie par les capillaires lymphatiques ; en réalité, on observe entre le sang et les tissus un échange constant de liquides, et seulement une partie de ces derniers, le surplus non utilisé, est drainée par les capillaires et entre dans la circulation lymphatique.

La formation de la lymphe n'est pas, comme on pourrait le croire, un phénomène simple, mais dépend d'un grand nombre de phénomènes physiques complexes. En premier lieu, le phénomène de la filtration, qui règle le passage de l'eau et des substances qu'elle porte en solution à travers une membrane, passage qui obéit aux différences de pression qui s'exercent sur les deux faces de la membrane.

En deuxième lieu, il faut considérer l'influence du degré de perméabilité des membranes à travers lesquelles s'effectue le passage du liquide ; il existe, en effet, des membranes semi-perméables qui laissent passer uniquement l'eau, et des membranes perméables uniquement à certains ions (atomes ayant gagné ou perdu des électrons).

Interviennent aussi des phénomènes de diffusion, sous la dépendance de la pression hydrostatique et de la

C. Bevilacqua



Section de la pulpe rouge de rate, organe hématopoiétique de la vie embryonnaire (× 250 × 4 ; coloration histologique de contraste).

pression osmotique. La pression hydrostatique provoque le passage des substances dissoutes du sang vers la lymphe, tandis que la pression osmotique, moins élevée dans la lymphe, assure le passage de ces mêmes substances vers le sang, dans lequel règne une pression osmotique supérieure.

Ainsi, le liquide interstitiel n'est pas uniquement réabsorbé par les capillaires lymphatiques qui le « pompent » sous l'effet de la pression osmotique, mais aussi par les capillaires sanguins.

La filtration agit dans le sens contraire à celui de la pression osmotique, favorisant la sortie de liquide des capillaires sanguins vers les espaces interstitiels.

La formation de la lymphe est donc essentiellement un processus physico-chimique de filtration et d'omose, processus dans lequel interviennent comme agents régulateurs la pression sanguine, le degré de perméabilité de l'endothélium des capillaires et l'activité métabolique des cellules des tissus.

Un autre problème très important concerne le mécanisme suivant lequel ce liquide progresse dans les capillaires, puis dans les vaisseaux de plus grand calibre, réalisant ainsi une circulation en l'absence de tout organe propulseur.

L'expérimentation pratiquée chez l'animal a montré que lorsque celui-ci est absolument immobile, en anesthésie profonde, la circulation lymphatique s'arrête, mais que le plus petit mouvement, actif ou passif, est suffisant pour rétablir une circulation lymphatique même très lente.

On voit donc que la lymphe progresse sous l'influence de facteurs d'ordre essentiellement mécanique qui diffèrent selon les régions du corps : par exemple, au niveau des membres, ce sont les contractions musculaires et les mouvements en général qui favorisent la circulation lymphatique ; dans le thorax, ce sont les mouvements respiratoires et les pulsations des gros vaisseaux ; dans l'abdomen, les contractions des muscles abdominaux, les mouvements du tube digestif et les mouvements du corps provoquant un déplacement des viscères ; au niveau de la tête et du cou, les pulsations des artères cérébrales et l'aspiration thoracique, car, à chaque inspiration, il se crée dans le thorax une pression négative qui provoque la dilatation des gros vaisseaux proches du cœur, parmi lesquels se trouvent justement la grande veine lymphatique et le canal thoracique ; à l'inverse, à chaque expiration, il se crée une pression intra-thoracique positive entraînant une compression des vaisseaux, ce qui permet la progression de la lymphe.

Ces observations soulignent l'un des intérêts de l'exercice physique ; en effet, puisque celui-ci favorise la circulation lymphatique, il active en même temps tous les phénomènes métaboliques qui s'y rattachent, avec comme résultat une meilleure assimilation des substances nutritives et une élimination plus efficace des déchets.

LES GANGLIONS LYMPHATIQUES

Sur le trajet des vaisseaux lymphatiques, à des intervalles plus ou moins réguliers, on rencontre de petits organes de forme grossièrement ovoïde et d'un diamètre variant entre 1 mm et 1 cm : on les appelle ganglions lymphatiques. Chaque ganglion est constitué par un segment pelotonné du vaisseau lymphatique et par un tissu conjonctif particulier, le tissu lymphoïde, qui l'entoure.

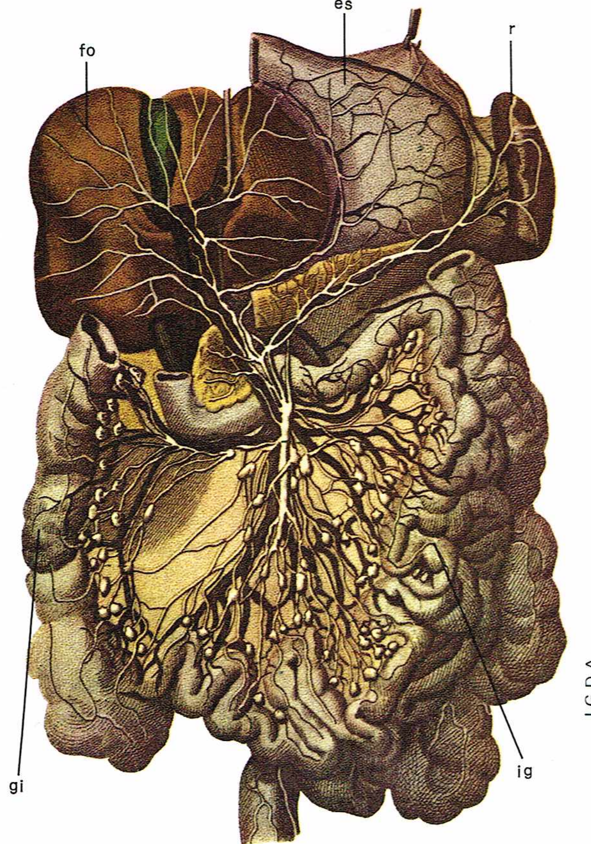
On évalue à environ 700 les ganglions lymphatiques présents dans le corps humain ; ils sont disséminés dans toutes les régions du corps, mais sont plus particulièrement abondants dans le mésentère, dans l'aine, sous les aisselles et sur les faces latérales du cou. Les ganglions lymphatiques jouent un rôle très important dans la dynamique de la circulation lymphatique à un double titre ; d'une part, ils constituent des réservoirs à lymphe lorsque celle-ci est particulièrement abondante (c'est le cas notamment des ganglions mésentériques qui stockent, après chaque repas, la lymphe provenant des vaisseaux chylifères) ; d'autre part, chaque ganglion ralentit à son niveau le courant lymphatique.

Ce ralentissement a pour résultat de faire séjourner la lymphe dans le ganglion le temps nécessaire à son épuration ; il est dû au fait que le nombre de vaisseaux qui aboutissent au ganglion est supérieur au nombre de ceux qui en partent. Il est facile de comprendre que si par exemple, cinq vaisseaux afférents déversent la lymphe dans le ganglion alors que le nombre des vaisseaux efférents n'est que de deux, il se produira un ralentissement de la circulation au niveau du ganglion.

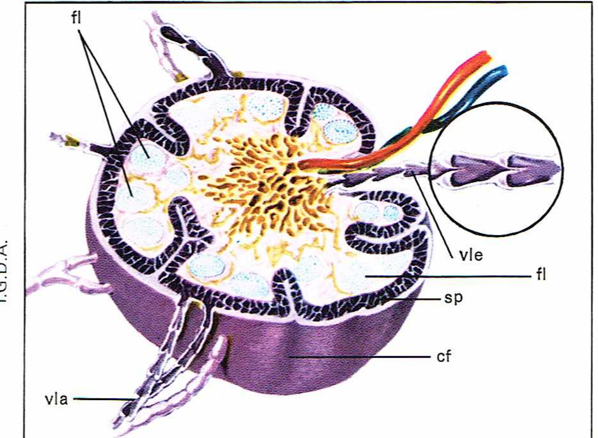
Les ganglions lymphatiques constituent des centres de désintoxication parmi les plus remarquables de l'organisme : en filtrant la lymphe, ils la débarrassent des germes, des substances toxiques et des particules étrangères dont elle s'est chargée au niveau des tissus. Là ne s'arrête pas leur fonction, car les ganglions lymphatiques sont susceptibles de détruire les germes grâce aux granulocytes (cellules au noyau lobulé) et aux macrophages (cellules de forte taille) de l'endothélium ; ces cellules sont en effet capables de phagocyter, c'est-à-dire de « digérer », les germes.

En outre, les ganglions lymphatiques envoient dans la circulation les lymphocytes, globules blancs présents non seulement dans la lymphe mais aussi dans le sang et qui jouent un rôle très important dans les processus de suppuration des blessures, dans les infections, etc.

Lorsque ces barrières naturelles se révèlent insuffisantes pour retenir les micro-organismes et les toxines et que ces corps passent dans la circulation sanguine, des phénomènes septicémiques et toxémiques (dus à la présence de toxiques) apparaissent.



A gauche : représentation semi-schématique des ganglions lymphatiques et des vaisseaux lymphatiques du foie, de la rate, de l'estomac et de l'intestin ; fo, foie ; es, estomac ; r, rate ; gi, gros intestin ; ig, intestin grêle. Ci-dessous : représentation schématique de la structure d'un ganglion lymphatique en coupe transversale ; cf, capsule fibreuse ; sp, sinus périphérique ; fl, follicule lymmphatique ; vle, vaisseau lymphatique efférent ; vla, vaisseau lymphatique afférent.



LA RESPIRATION

La respiration est un échange gazeux entre le milieu extérieur et l'organisme : celui-ci y puise l'oxygène qui lui est nécessaire et y rejette le gaz carbonique (ou anhydride carbonique).

On distingue une respiration externe, comprenant une inspiration et une expiration qui se traduisent par une fixation d'oxygène par le sang et une élimination de gaz carbonique ; une respiration interne, qui a lieu entre le sang et les cellules, celles-ci puisant l'oxygène dans le sang artériel et y rejetant le gaz carbonique ; enfin, une respiration à l'intérieur des cellules, qui permet à celles-ci de dégrader le glucose afin de produire l'énergie nécessaire à la vie : cette dégradation se réalise grâce à l'oxygène, utilisé comme combustible, et elle se termine par l'élimination du gaz carbonique.

MÉCANIQUE DE LA RESPIRATION

Voyons comment se présente la respiration chez l'homme. D'un point de vue purement mécanique, le fonctionnement du poumon est très semblable à celui d'un soufflet ; en effet, les poumons se gonflent par inspiration d'air et se dégonflent par expulsion de celui-ci. La première de ces deux phases est active chez l'homme, puisque l'expansion pulmoneire est réalisée par élargissement de la cage thoracique et soulèvement des côtes sous l'action des muscles superficiels de la paroi antérieure du thorax, des muscles intercostaux (situés entre les côtes) et des muscles scalènes (dans le cou), ainsi que par l'abaissement du diaphragme ; la deuxième phase, l'expiration, est passive, la cage thoracique revenant à ses dimensions initiales par simple relâchement des muscles qui s'étaient précédemment contractés.

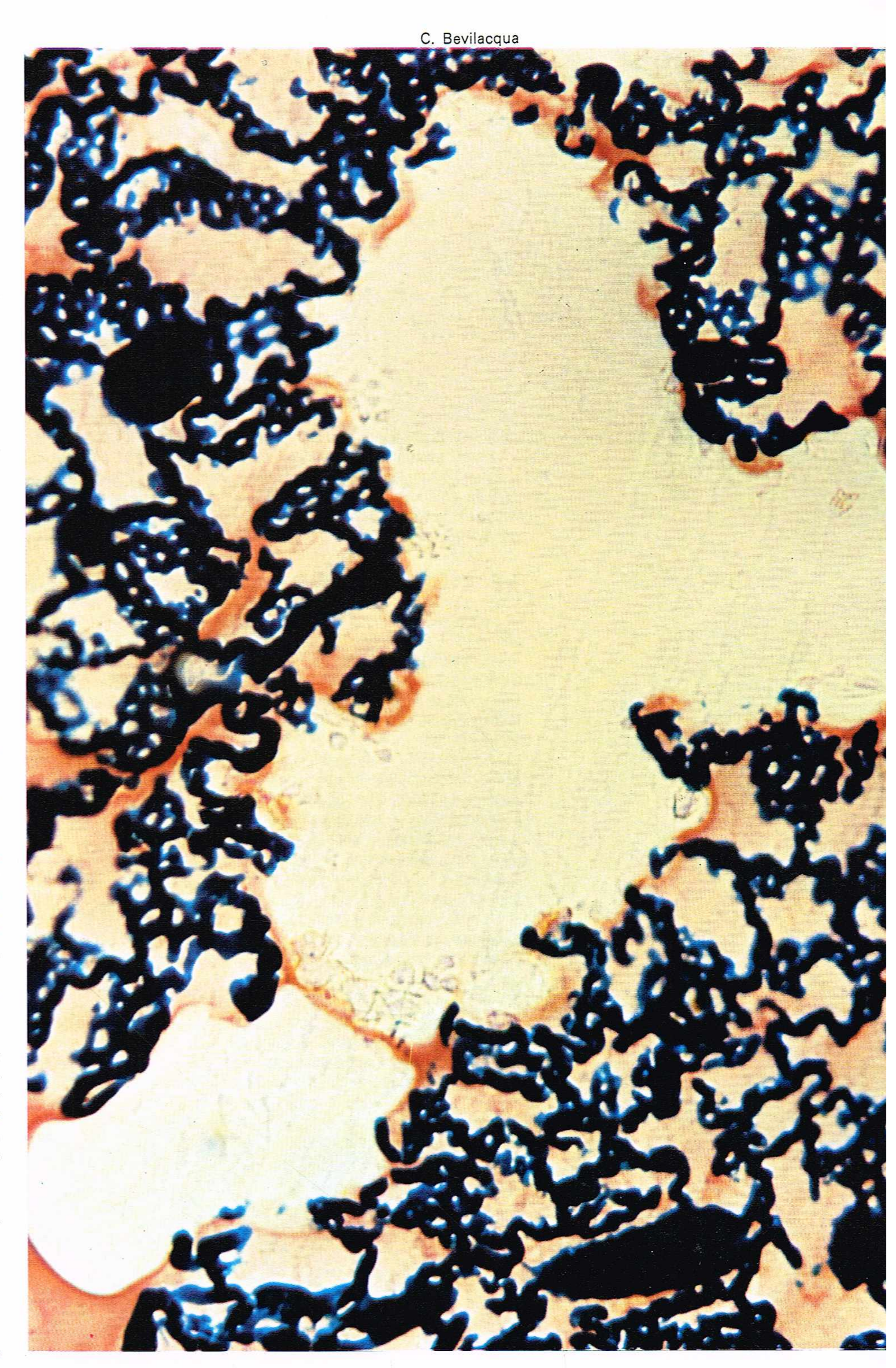
En moyenne, l'homme effectue environ 16 mouvements respiratoires par minute et la femme 14. Chaque mouvement respiratoire permet l'introduction dans les poumons d'environ 500 cm³ d'air, qui constituent le volume courant. La capacité totale du poumon étant de l'ordre de 5 000 cm³, la différence est constituée par : 1 500 à 2 000 cm³ de volume de réserve inspiratoire, correspondant au volume d'air qui peut être introduit dans le poumon par une inspiration forcée et qui s'ajoute au volume courant ; 1 500 cm³ de volume de réserve expiratoire, volume pouvant être émis par une expiration forcée après une expiration normale ; 1 000-1 500 cm³ de volume résiduel, qui demeure en permanence dans les poumons.

Le total formé par le volume courant, le volume de réserve inspiratoire et le volume de réserve expiratoire, constitue la capacité vitale du poumon. Rappelons, enfin, que par ventilation pulmonaire on entend le volume d'air inspiré et expiré à chaque minute. Si on considère que des 500 cm³ d'air inspirés seulement 350 arrivent jusqu'aux alvéoles et que l'air vicié, formé par le volume résiduel et le volume de réserve expiratoire, correspond à un volume de 2 500 cm³ le rapport entre ces deux grandeurs $\frac{350}{2\,500} = 0{,}14$ *nous donne le coefficient de ventilation pulmonaire. Celui-ci indique que sur 100 cm³ d'air présents dans le poumon, seulement 14 sont renouvelés.*

LA FONCTION RESPIRATOIRE DU SANG

Le volume d'oxygène contenu dans 100 ml de sang artériel est d'environ 20,3 ml, dont 20 ml sont liés à l'hémoglobine, le pigment rouge des hématies ou globules rouges : elle est ainsi oxydée en HbO_2 *; le reste, 0,3 ml, est dissous dans le plasma. Dans un même volume de*

C. Bevilacqua



Cette illustration montre quelques cloisons interalvéolaires de poumon humain. Le réseau capillaire a été mis en évidence grâce à l'injection d'un colorant bleu (× 100 × 4,5).

sang veineux, on trouve, en revanche, 15,3 ml d'oxygène, dont 15,2 ml liés à l'hémoglobine et 0,1 dissous.

Le rapprochement de ces chiffres montre que le sang artériel devient veineux en perdant 5 ml d'oxygène par 100 ml de sang. On note aussi que la quasi-totalité de l'oxygène contenue dans le sang est liée à l'hémoglobine pour former l'oxyhémoglobine, corps dans lequel la liaison de l'oxygène est instable et réversible et que l'on indique, de ce fait, par l'équation suivante : $Hb + O_2 \rightleftharpoons HbO_2$.

Par capacité totale du sang en oxygène, ou pouvoir oxyphorique, on entend le volume d'oxygène qui se trouve lié à l'hémoglobine lorsque celle-ci est complètement saturée.

On sait que, pour le sang humain, le pouvoir oxyphorique est un peu supérieur à 20 ml par 100 ml de sang, d'où l'on déduit que toute l'hémoglobine de sang artériel est saturée par l'oxygène, tandis que le sang veineux contient une fraction d'hémoglobine non saturée.

La quantité d'oxygène qui se fixe à l'hémoglobine dépend directement de la pression partielle de l'oxygène : dans les poumons, l'air inspiré contient de l'oxygène à une pression partielle élevée (100 mm de mercure), tandis que la pression partielle d'oxygène n'est que de 30 à 40 mm de mercure dans le sang veineux. Cela permet de comprendre facilement que l'oxygène se fixe rapidement sur l'hémoglobine jusqu'à saturation à peu près complète du pigment respiratoire : le produit qui en résulte est l'oxyhémoglobine.

A l'inverse, la pression partielle d'oxygène dans les tissus n'est que de 30 mm de mercure alors qu'elle est de 95 à 100 mm dans le sang artériel ; aussi, l'oxygène se détache de l'hémoglobine et passe dans les tissus.

Ainsi, grâce à ce mécanisme, l'oxygène est transporté depuis les poumons jusqu'aux cellules, où il sera utilisé. Nous allons maintenant examiner de quelle manière, toujours par l'intermédiaire du sang, est éliminé le gaz carbonique.

LE TRANSPORT DU GAZ CARBONIQUE

A l'inverse de ce qui se passe pour l'oxygène, la pression partielle de gaz carbonique dans les tissus est beaucoup plus élevée que dans le sang artériel (environ 50 mm de mercure contre 40 mm pour le sang) ; cette différence de pression explique la propriété que possède le gaz carbonique de passer dans le sang, lequel cède simultanément de l'oxygène, se transformant ainsi en sang veineux.

Arrivé aux poumons, le sang veineux présente une pression partielle de gaz carbonique d'environ 46 mm de mercure, alors que la pression partielle de ce gaz dans l'air alvéolaire n'est que de 40 mm de mercure ; cette différence entraîne le transfert du gaz carbonique du sang dans l'air alvéolaire, avec lequel il sera éliminé lors de l'expiration ; dans le même temps, le sang fixe de l'oxygène et devient artériel.

Il nous reste à envisager comment le gaz carbonique est transporté par le sang ; ce mécanisme de transport est beaucoup plus complexe que celui que nous avons observé pour l'oxygène et exige une explication plus détaillée.

Avant tout, une petite fraction de gaz carbonique se dissout dans le plasma, à raison de 3 volumes % (phénomène que nous avons déjà noté pour l'oxygène), cependant qu'une fraction pratiquement négligeable se transforme, en s'hydratant lentement, en acide carbonique H_2CO_3*, acide très instable, qui se combine au sodium présent dans les protéinates et les phosphates du sang.*

Négligeons ces quantités infimes et constatons que la plus grande partie du gaz est transportée par le sang sous des formes chimiques diverses, issues de transformations complexes.

En simplifiant, on peut dire que le gaz carbonique pénètre presque en totalité dans les globules rouges, où il sera soumis à deux processus différents : une petite fraction se fixe directement à l'hémoglobine réduite (celle-ci ayant cédé l'oxygène aux tissus) et est transportée sous forme de carbamine à raison de 3,82 volumes %.

La fraction restante de gaz carbonique s'hydrate en acide carbonique H_2CO_3 *sous l'action d'un catalyseur, l'anhydrase carbonique, qui permet à cette réaction, normalement assez lente, de se produire en un temps compatible avec la durée de la circulation sanguine.*

L'acide carbonique ainsi formé réagit avec le potassium, qui se trouve lié à l'hémoglobine réduite, en donnant du bicarbonate de potassium $KHCO_3$*, qui se dissocie immédiatement en ions* K^+ *et* HCO_3^-*. Rappelons que les ions sont des atomes qui ont gagné ou perdu des électrons.*

Ensuite les ions HCO_3^- *sortent du globule rouge, à l'intérieur duquel ils sont remplacés par des ions* Cl^- *qui y pénètrent : cela entraîne une augmentation de la quantité de chlore à l'intérieur du globule et une diminution dans le plasma, dans lequel, en revanche, s'accumule une quantité considérable de bicarbonate de soude.*

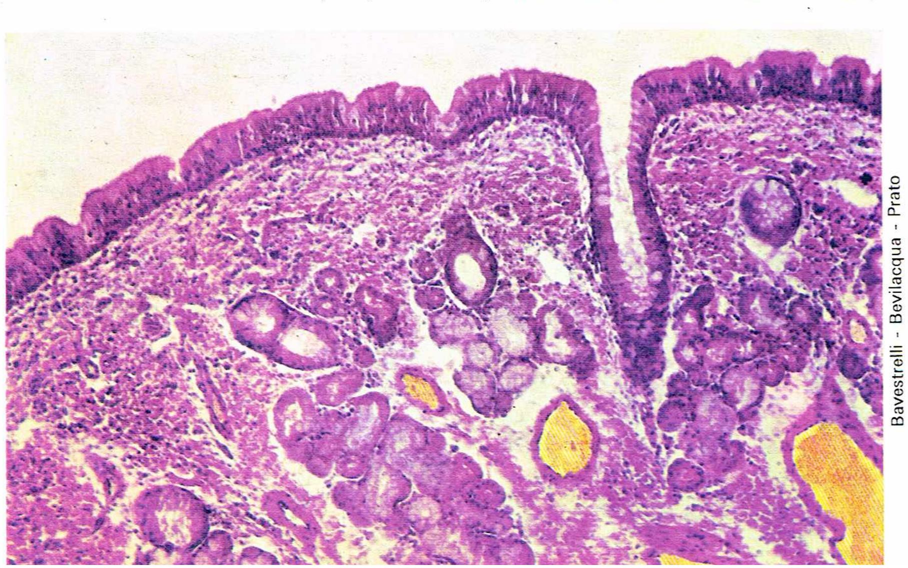
Le mécanisme de transport du gaz carbonique que nous venons de décrire est, quantitativement, le plus important ; au terme de ce processus, ce gaz se trouve présent à raison de 13,6 volumes % dans le globule rouge, sous forme de bicarbonate de potassium, et à raison de 33,05 volumes % dans le plasma, sous forme de bicarbonate de sodium, ce qui donne un total de 46,65 % sur les 53,5 volumes % transportés globalement par le sang veineux.

Lorsque le sang veineux parvient aux alvéoles pulmonaires, le gaz carbonique, sous l'effet de la différence de pression partielle, passe du sang dans l'air alvéolaire, parcourant en sens inverse le schéma de réactions que nous venons de décrire et qui aboutit à la libération du gaz.

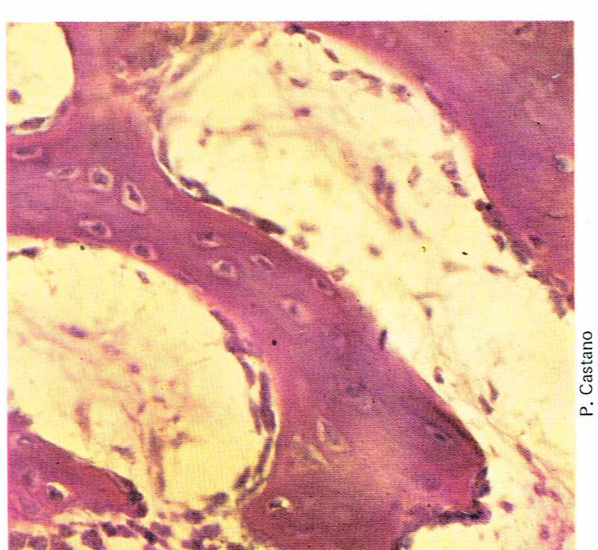
Il est intéressant de noter que le temps nécessaire pour que soit atteint l'équilibre gazeux entre le sang et l'air alvéolaire est d'une seconde à peine, et cela grâce à l'énorme surface respiratoire des alvéoles pulmonaires : on estime, en effet, que la surface totale développée des alvéoles pulmonaires et des capillaires qui les entourent atteint 200 m^2 *environ.*

Le transport du gaz carbonique par le sang veineux est facilité par le fait que l'hémoglobine réduite, c'est-à-dire privée de l'oxygène qu'elle a cédé aux tissus, possède une bien plus grande capacité de fixer le gaz carbonique que l'hémoglobine oxydée ; on a pu déterminer expérimentalement que, sous la pression de CO_2 *régnant dans l'organisme, le sang veineux contenant de l'hémoglobine réduite est capable de fixer 6 volumes % de plus que le sang artériel riche en oxyhémoglobine.*

Ci-dessous : coupe transversale de muqueuse nasale, où l'on voit l'épithélium vibratile et la couche superficielle riche en glandes (× 100 × 1,4 ; coloration de contraste). A droite : préparation histologique de pharynx foetal (× 250 × 1,3 ; coloration de contraste).



Bavestrelli - Bevilacqua - Prato



P. Castano

LA PEAU

La peau et ses structures annexes jouent un rôle bien plus important que celui de simple revêtement du corps.

En premier lieu, la peau est une surface de protection; bien qu'elle paraisse, du moins chez l'homme, mince et fragile, elle est en réalité formée de plusieurs couches de cellules, dont la plus externe présente une kératinisation plus ou moins accentuée selon les contraintes mécaniques qu'elle supporte. La kératinisation est l'imprégnation par une substance, la kératine, qui donne un aspect de corne.

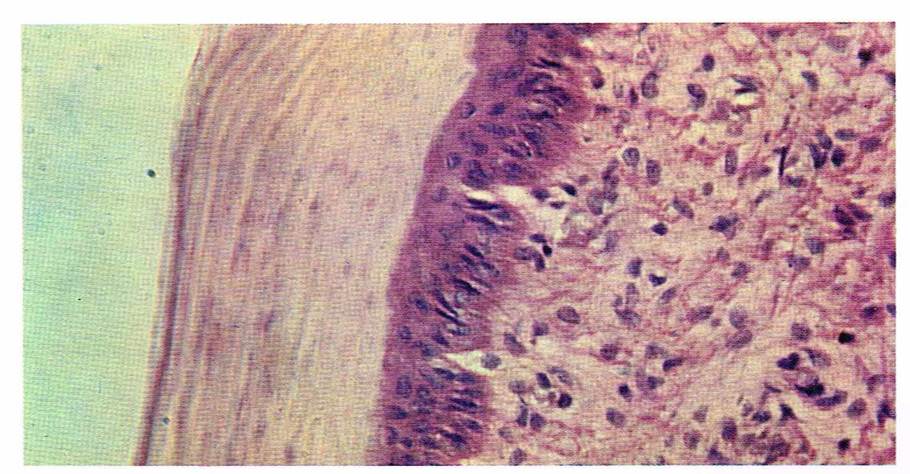
Ainsi, par exemple, l'épithélium (tissu de revêtement) de la plante des pieds est beaucoup plus kératinisé que celui de l'abdomen. En outre, la peau peut être considérée dans son ensemble comme un organe sensoriel d'une extrême importance, car elle contient tous les récepteurs des diverses sensibilités : tactile, thermique et douloureuse.

Chez les Vertébrés homéothermes, c'est-à-dire « à sang chaud », donc aussi chez l'homme, la peau participe à la régulation nerveuse réflexe de la température du corps, puisque c'est essentiellement à son niveau que se produit la dispersion de la chaleur.

Non moins importante est la fonction excrétoire et sécrétoire de la peau, dévolue respectivement aux glandes sudoripares et aux glandes sébacées. Enfin, la peau joue un rôle non négligeable, reconnu depuis peu, dans le domaine de l'immunologie, c'est-à-dire la résistance aux microbes et substances étrangères. L'immunité réalisée localement sur une surface cutanée s'étend souvent à tout l'organisme.

Certains exemples de ce phénomène sont fort connus, tels la cutiréaction à la tuberculine, destinée à révéler l'existence éventuelle d'une infection tuberculeuse dans l'organisme.

L'allergologie (étude des allergies) aussi s'adresse à la peau pour identifier les agents responsables des phénomènes allergiques : pollens, poils ou plumes, produits alimentaires. Cette recherche s'effectue en injectant sous la peau une petite quantité de la substance suspecte. En cas de réaction positive, on observe la formation d'une papule caractéristique : l'agent allergène (c'est-à-dire qui produit l'allergie) est ainsi identifié et l'on pourra alors mettre en œuvre un traitement désensibilisant.



C. Bevilacqua

Coupe longitudinale d'un ongle sur laquelle on distingue la lamelle unguéale, la matrice unguéale et la couche de derme sous-jacente (× 400 × 1,3; coloration de contraste).

LA SUEUR

La sueur est le produit des glandes sudoripares; celles-ci, formées de minuscules tuyaux pelotonnés, sont logées dans le derme et envoient leurs canaux excréteurs à la surface.

La sueur est composée de 98 % à 99 % d'eau et, pour le restant, de sels minéraux et de composés organiques, parmi lesquels l'urée, l'acide urique, de nombreux acides gras, l'ammoniaque et l'acide lactique. Ce dernier n'est présent dans la sueur qu'à l'occasion d'un travail musculaire intense.

Il est important de noter que, en cas de mauvais fonctionnement rénal, la sueur supplée dans une certaine mesure à la fonction défaillante du rein en éliminant plus abondamment les déchets organiques. Le contenu en eau de la sueur est, en revanche, en rapport avec la régulation de la température : l'eau qui se trouve à la surface de la peau provoque en s'évaporant sous l'effet de la chaleur un abaissement considérable de la température de la peau, conformément à une loi physique bien connue. Dans les pays chauds ou en cas de travail musculaire très intense, la quantité de sueur peut atteindre 15 l. par jour, ce qui s'accompagne d'une diminution du volume des urines. Rappelons que l'évaporation d'1 g d'eau entraîne la déperdition de 500 petites calories.

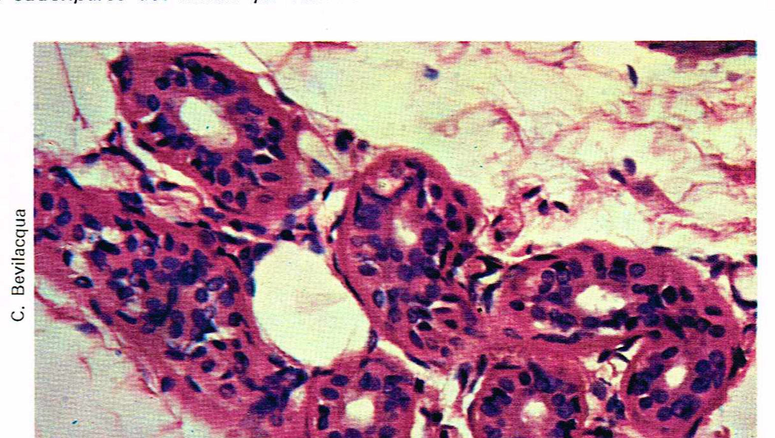
La régulation nerveuse de la transpiration est assurée par le système sympathique généralement sous l'effet d'une augmentation de la température du sang; en particulier, on a pu constater qu'une augmentation de la température du sang circulant dans le cerveau provoque la transpiration. Cela se produit également si l'on réchauffe artificiellement le sang qui passe dans la carotide et qui se dirige vers le cerveau, même si la température du corps demeure normale.

Ce phénomène est dû au fait que le sang réchauffé excite les centres nerveux qu'il irrigue, lesquels envoient aux glandes sudoripares des influx qui commandent la

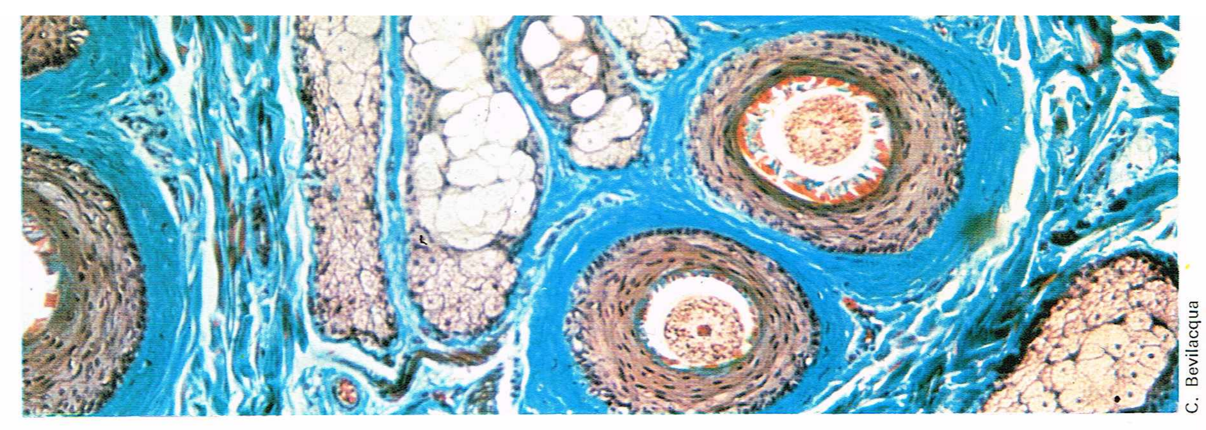
A gauche : follicule pileux sectionné obliquement au niveau du bulbe pileux (× 250 × 1,2; coloration de contraste). A droite : glande sudoripare (400 × 1,2; coloration de contraste).



C. Bevilacqua



C. Bevilacqua



Coupe transversale de cuir chevelu montrant les follicules pileux et les formations glandulaires annexes (× 100 × 2 coloration de contraste).

mise en route du processus de refroidissement. Notons, enfin, que les centres nerveux préposés à la régulation de la sécrétion sudorale peuvent être excités par d'autres facteurs que la chaleur, tels que la peur, l'anxiété et des émotions diverses. On obtient alors ce qu'on appelle la sueur encéphalique.

Echappe, en revanche, à l'activité glandulaire, la respiration insensible, c'est-à-dire les échanges gazeux qui se font à travers la peau.

STRUCTURE DE LA PEAU, DES POILS ET DES GLANDES SÉBACÉES

La peau des Mammifères est constituée de deux couches principales : l'épiderme, en contact avec l'air, et le derme, couche profonde en contact avec le tissu conjonctif sous-cutané.

L'épiderme comprend à son tour cinq couches. La couche cornée, la plus externe, est formée d'un épithélium kératinisé qui perd en surface sa structure cellulaire et ne présente que des lamelles cornées élastiques et résistantes dépourvues de noyaux. La couche claire, située sous la précédente, est appelée ainsi à cause de sa transparence caractéristique. La couche granuleuse est formée de cellules riches en granules de kérato-hyaline, substance graisseuse qui assouplit la kératine.

La couche épineuse comprend de nombreux points de jonction entre les différentes cellules, au niveau desquels se trouveraient des fibrilles de soutien, destinées à renforcer la cohésion entre les cellules. Enfin, au contact du derme, on trouve la couche basale, à partir de laquelle se forment les nouvelles cellules destinées à renouveler les couches supérieures au fur et à mesure qu'elles s'usent. Les cellules les plus profondes de cette couche contiennent le pigment qui donne à la peau sa coloration.

Le derme est formé d'un tissu conjonctif fibreux assez élastique et contenant, au voisinage de l'épiderme, des papilles auxquelles aboutissent de nombreux filets nerveux ainsi que les vaisseaux sanguins destinés à assurer la nutrition des couches épidermiques qui, comme tous les épithéliums, ne sont pas vascularisées.

Ces papilles dermiques déterminent à la surface de l'épiderme de petites saillies, dont la répartition est caractéristique pour chaque individu et qui sont parfaitement visibles, par exemple, au niveau des bouts des doigts. Ce sont les empreintes digitales — où elles sont plus nombreuses en raison de l'abondance des filets nerveux conducteurs des sensations tactiles, thermiques, etc.

Les poils sont des structures cornées produites par la couche basale de l'épiderme : ils naissent d'un bulbe pileux contenant la papille du poil, les capillaires sanguins et les terminaisons nerveuses; le bulbe pileux est logé dans une dépression de la couche basale qui pénètre profondément dans le derme et que l'on appelle follicule pileux.

A chaque follicule pileux sont annexés un muscle horripilateur et une glande sébacée. Le muscle horripilateur ou érecteur du poil provoque par sa contraction le redressement du poil et repousse vers la surface l'orifice de la glande sébacée annexe, ce qui donne lieu au phénomène bien connu de la « chair de poule » ou horripilation. Les muscles érecteurs du poil sont uniformément répartis, sauf au niveau des poils des cils, des sourcils, des aisselles et du pubis.

Ces muscles sont innervés par le système sympathique : les influx nerveux qui en provoquent la contraction peuvent être d'origine cérébrale, comme lorsque l'horripilation est due à des représentations psychiques telles que la peur, l'anxiété, etc., ou bien venir de la moelle épinière, par arc réflexe. Dans ce dernier cas, la stimulation cutanée est transmise directement à la moelle, d'où part la réponse qui provoquera la contraction des muscles.

Les glandes sébacées, qui sont du type à grappe simple, sécrètent le sébum, substance destinée à protéger l'épiderme du desséchement et à lubrifier le poil. Chimiquement, le sébum comprend plusieurs constitutants : on y trouve de nombreux glycérides, des acides gras, du cholestérol, des phosphatides et une grande quantité d'eau.

La sécrétion sébacée, qui semble indépendante du système nerveux central, est continue, mais devient plus intense en cas de vasodilatation (dilatation des vaisseaux) cutanée.

Les ongles sont également des productions cornées annexées à l'épiderme ; de forme lamellaire chez l'homme, ils sont logés dans un pli du derme, appelé sillon unguéal. Leur face inférieure repose sur le « lit de l'ongle » et leur partie postérieure, appelée racine de l'ongle et indispensable à la vie de celui-ci, est le siège d'un processus constant de multiplication.

LES EFFETS DE LA LUMIÈRE SUR LA PEAU

La peau est le siège d'un certain nombre de processus chimiques provoqués par l'action de la lumière solaire ; celle-ci joue le rôle de catalyseur dans plusieurs de ces processus, ou bien fournit uniquement l'énergie nécessaire à leur déroulement. Ce sont surtout des radiations lumineuses n'entrant pas dans le spectre visible (leurs longueurs d'onde étant trop petites ou trop grandes pour être perçues par l'œil) qui interviennent dans ces phénomènes : rayons ultraviolets et rayons infrarouges.

La lumière exerce directement sur la peau une action facile à constater ; en effet, une exposition trop prolongée aux rayons solaires provoque un érythème (rougeur de la peau) qui, sauf en cas de véritable brûlure, augmente la pigmentation de la peau ; celle-ci exerce un effet protecteur en cas de nouvelle exposition.

Dans ce domaine, l'action des rayons ultraviolets est particulièrement intense ; non seulement ils sont susceptibles de provoquer un érythème localisé, s'accompagnant souvent de fièvre, mais ils peuvent être à l'origine de phénomènes se manifestant dans un deuxième temps tels qu'hypertension artérielle et ralentissement de la respiration.

Les rayons ultraviolets, d'une longueur d'onde comprise entre 313 et 256 millimicrons, jouent un rôle très considérable dans la prévention du rachitisme. En effet, ces rayons ont la propriété d'activer la transformation d'un stérol (alcool d'un type particulier) en vitamine D_3 ; celle-ci est en partie stockée dans la peau et en partie utilisée par l'organisme, surtout au niveau des tissus de soutien, dont elle stimule la croissance. Cette action revêt un intérêt tout particulier dans le cas de régimes qui manquent de vitamine D.

Notons que ce type de rayonnement est très peu pénétrant (0,5 mm), car il est en grande partie réfléchi par la couche cornée de l'épiderme ; aussi seule une faible fraction de ces rayons parvient dans la zone active de la peau.

En outre, la présence dans l'air de trop grandes quantités de vapeur d'eau, de poussières et de fumées provoque la formation d'un écran pratiquement impénétrable au rayonnement ultraviolet : c'est là l'un des aspects préoccupants de la pollution de nos villes.

LES MUSCLES

Organes actifs du mouvement, les muscles constituent un ensemble complexe de leviers dont les parties mobiles sont les éléments squelettiques, les points d'appui les articulations, et la résistance, variable, le corps à déplacer ou le poids à soulever.

Il existe chez les Vertébrés deux types de tissus musculaires. Le tissu musculaire lisse ne renferme que des fibres lisses, composées de fibrilles (ou myofibrilles) non segmentées : ce tissu se rencontre dans les muscles liés à la vie végétative (parois du tube digestif, de l'utérus, etc.).

Le tissu musculaire strié, que l'on observe dans les muscles des membres, est constitué de fibres faites de fibrilles striées. Chacune de ces fibrilles est composée de « disques » sombres, contractiles, alternant avec des « disques » clairs, non contractiles.

Le point d'application de la force agissante du muscle est le point d'attache du tendon à l'os. Ainsi, lorsque nous soulevons un poids, notre bras agit comme un levier dont le pivot est situé au niveau du coude ; la force agissante est représentée par le biceps (qui s'insère sur un os de l'avant-bras, le radius) et la force résistante par la main qui tient le poids ; la tête se comporte aussi comme un levier, le pivot étant représenté par l'articulation occipito-atlantoïdienne (c'est-à-dire l'articulation entre le crâne et la colonne vertébrale), la force agissante par le muscle de la nuque et la force résistante par le poids de la tête, qui aurait tendance à tomber en avant.

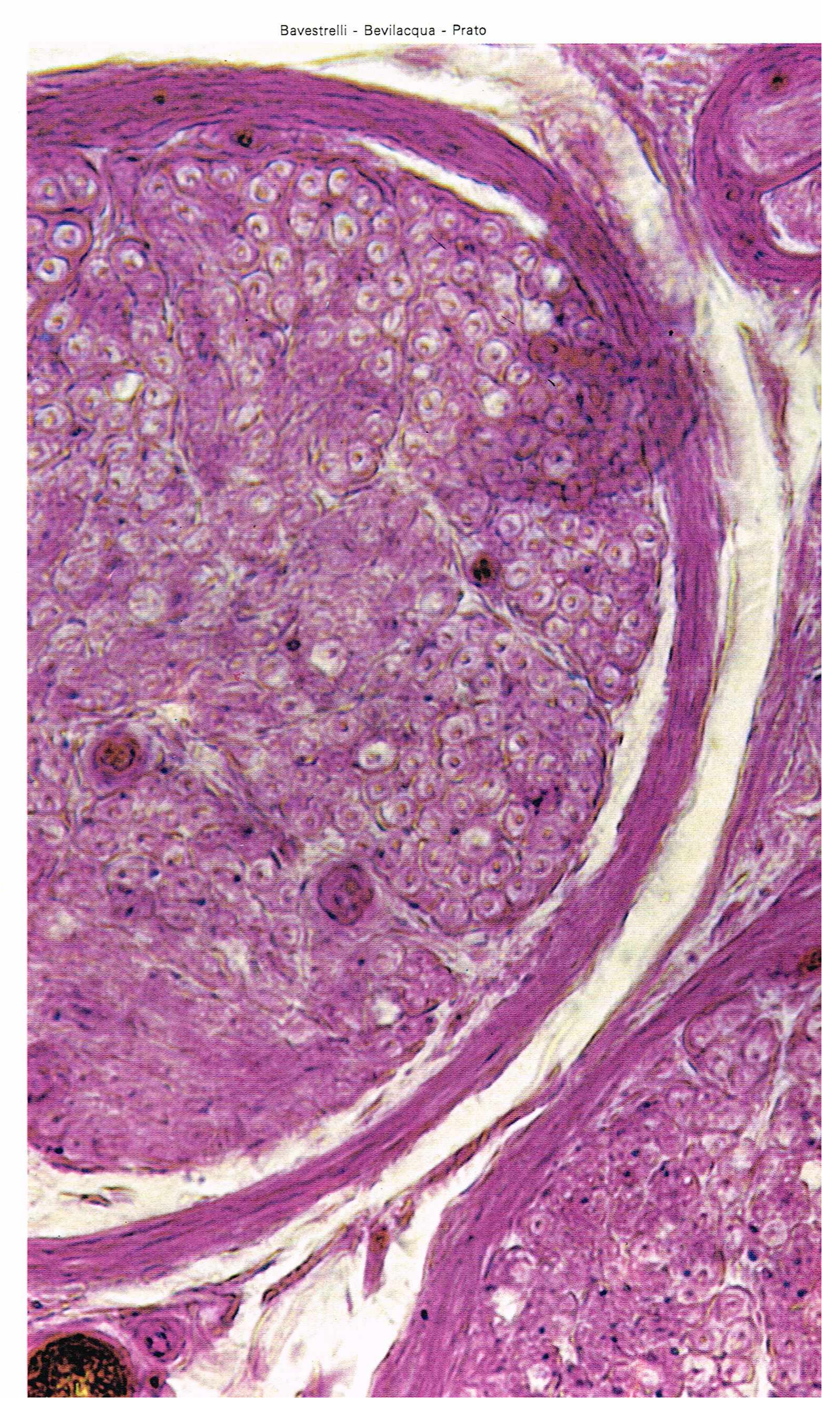
Un autre exemple de levier nous est fourni par le mouvement qui soulève le corps sur la pointe des pieds : dans ce mouvement, la résistance est représentée par le poids du corps, le pivot par l'articulation entre le métatarse et les premières phalanges des orteils, la force agissante par les muscles jumeaux du mollet et par le muscle soléaire insérés sur le calcanéum, l'os du talon. Les tendons sont des cordons de tissu conjonctif fibreux, tissu formé par une substance fondamentale qui contient de très nombreuses fibres étroitement associées en faisceaux rectilignes ou croisés, s'unissant d'un côté au muscle et de l'autre à l'os ; ils offrent une très grande résistance à la traction et jouent passivement un rôle purement mécanique.

Bien qu'elles apparaissent intimement liées entre elles, il n'y a pas de continuité entre les fibres collagènes du tendon et les fibres musculaires : c'est uniquement par le périmysium, membrane qui entoure le muscle, que celui-ci est en continuité avec les fibres tendineuses.

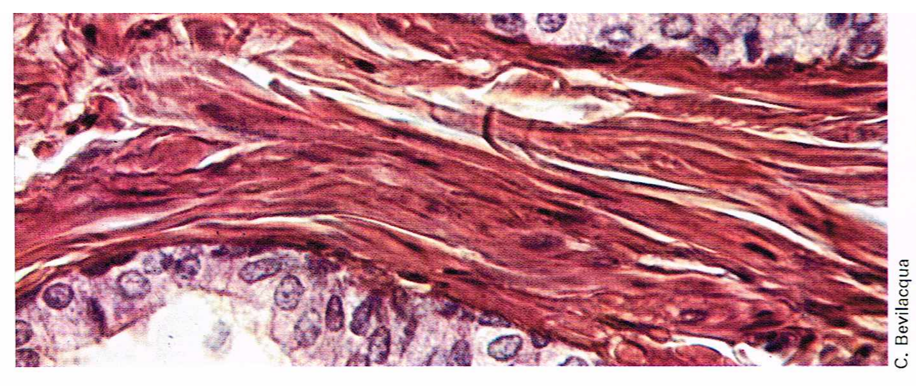
LA PHYSIOLOGIE DE LA CONTRACTION MUSCULAIRE

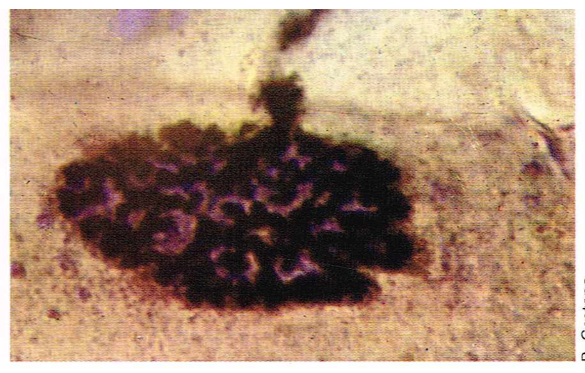
Le muscle se contracte en réponse aux influx nerveux de nature chimique qui lui parviennent par l'intermédiaire des nerfs moteurs, dont la connection avec le muscle a lieu au niveau d'une zone particulière, la plaque motrice. En y aboutissant, ils perdent leur gaine de myéline (la substance qui les entoure) et subissent une très fine arborisation.

Bavestrelli - Bevilacqua - Prato



Coupe transversale de deux faisceaux du nerf sciatique. On sait que l'innervation d'un muscle est indispensable à sa contraction et que l'interruption des fibres nerveuses d'un muscle strié entraîne non seulement une paralysie flasque, mais aussi une atrophie et la dégénérescence des fibres musculaires (observation au microscope optique ; coloration de contraste).


C. Bevilacqua


P. Castano

A gauche : coupe transversale d'un fragment de prostate : outre l'épithélium prismatique et la tunique conjonctive, on voit les faisceaux de la musculature lisse (× 400 × 2,3; coloration de contraste).
A droite : photographie microscopique exceptionnelle, à moyen grossissement, de la plaque motrice d'un faisceau de fibres musculaires (coloration de contraste).

La contraction musculaire ne se produit pas simultanément dans tout le muscle : elle se propage comme une onde à partir de la plaque motrice. On appelle excitabilité d'un muscle la capacité de celui-ci à répondre à une stimulation électrique : on considère qu'un muscle est d'autant plus excitable que la stimulation minimale nécessaire (stimulus-seuil) pour le faire réagir est plus faible. L'excitabilité varie d'un muscle à l'autre; elle a une valeur plus faible pour les muscles lisses que pour les muscles striés. La contraction musculaire se réalise essentiellement selon deux modalités : isotonique et isométrique.

La contraction isotonique se vérifie lorsque le muscle est libre de se raccourcir. Pour la déceler expérimentalement, on suspend à un fil un muscle de grenouille fraîchement prélevé sur l'animal et maintenu en solution physiologique; on fixe un poids à l'autre extrémité, et on envoie une stimulation électrique au muscle : celui-ci se contracte, se raccourcit en augmentant de volume et soulève le poids.

Dans la contraction isométrique, le muscle est fixé par ses deux extrémités et ne peut donc se raccourcir sous la stimulation électrique, ni changer de volume : dans ce cas, on constate une augmentation de sa tension, ce qui traduit l'effort accompli par le muscle pour se raccourcir librement.

Dans la contraction isotonique, on distingue plusieurs phases successives immédiatement après la stimulation : durant la première phase, très courte (0,004 s), phase de latence, le muscle reste inerte pour se relâcher ensuite pendant un temps très bref (détente précontractile); survient ensuite la phase de contraction, qui s'accompagne de raccourcissement; la contraction augmente jusqu'à un maximum et régresse ensuite durant la phase de relâchement. Dans la contraction isométrique, on distingue également une phase de latence et un relâchement précontractile, mais la phase de relâchement qui suit ne répond plus à une courbe presque parabolique (comme dans la contraction isotonique); en particulier, on n'observe pas une pointe suivie d'un abaissement progressif jusqu'à la valeur initiale, mais plutôt un tracé en plateau, la courbe atteignant un certain niveau et s'y maintenant pendant un temps donné (phase de tension), pour décroître ensuite beaucoup plus rapidement que dans le cas de la contraction isotonique.

L'expérience a également montré que si l'on envoie au muscle deux stimulations telles que la seconde parvienne à la plaque motrice avant que la contraction provoquée par la première stimulation ne soit épuisée, les deux contractions s'additionnent; si, par exemple, la deuxième stimulation parvient au moment où la première contraction est à son point maximum, on obtient un renforcement de la contraction avec un raccourcissement total du muscle pratiquement deux fois plus important que dans le premier cas. Une troisième stimulation envoyée au moment de l'effet maximal de la deuxième provoque un nouveau raccourcissement, bien moindre toutefois que le raccourcissement consécutif à la deuxième stimulation. Des stimulations ultérieures provoqueront des raccourcissements toujours plus faibles, jusqu'à ce que le muscle atteigne le maximum de ses possibilités et ne se raccourcisse plus; à ce point, les impulsions successives n'auront d'autre effet que de maintenir le muscle en état de contraction maximale permanente. On donne à ce phénomène le nom de tétanos physiologique, pour le distinguer du tétanos pathologique, maladie caractérisée précisément par des contractions musculaires spasmodiques.

Un muscle isolé, soumis expérimentalement à une stimulation électrique, commence, après un certain nombre de contractions, à donner des signes de fatigue, décelables par un allongement du temps de latence et de la durée des contractions, cependant que l'on observe simultanément une diminution de l'intensité des contractions, qui, au début, allaient croissant. Ce phénomène s'observe également sur les muscles étudiés in vivo, *où son apparition est même plus précoce que dans le cas du muscle isolé. Cela provient du fait que la fatigue survient au niveau des connections entre muscle et nerf de la plaque motrice beaucoup plus tôt qu'au niveau des fibres musculaires; la fatigue des cellules nerveuses centrales se manifeste, elle, encore plus tôt.*

La fatigue dépend essentiellement de deux facteurs : en premier lieu, la consommation des substances qui se trouvent au niveau du muscle et qui fournissent l'énergie nécessaire à la contraction; en second lieu, l'accumulation dans le muscle de produits de déchet issus de ces mêmes réactions. Laissé au repos, le muscle fatigué se restaure lentement en oxydant une grande partie des substances de rejet, qui se trouvent ainsi éliminées, et en reconstituant les substances énergétiques qui permettront les contractions ultérieures; en outre, le muscle élimine les déchets.

Avec ou sans oxygène, le muscle peut se contracter tant en aérobiose, c'est-à-dire en présence d'oxygène, qu'en anaérobiose, c'est-à-dire en l'absence d'oxygène. La contraction aérobie comporte deux phases, dont la première, anaérobie, est une simple scission de substances complexes en d'autres plus simples, telles que la scission du glycogène en acide lactique; la deuxième phase, aérobie, voit l'oxydation d'une partie de l'acide lactique et du glycogène. Cela explique pourquoi l'activité musculaire exige la présence de glucides (sucres) et d'oxygène.

En ce qui concerne la consommation d'oxygène, on a pu mesurer que, chez l'homme au repos, la ventilation pulmonaire, c'est-à-dire le volume d'air inspiré et expiré par minute, est d'environ six litres, avec une consommation d'oxygène de 250 ml par minute, tandis qu'à l'occasion d'un travail musculaire intense, la consommation d'oxygène augmente proportionnellement à l'intensité du travail jusqu'à ce que l'apport d'oxygène équilibre exactement les besoins physiologiques. Il convient cependant de noter que, tandis que l'accélération de l'approvisionnement en oxygène s'instaure lentement, les besoins en oxygène se font sentir, en revanche, dès la première contraction. Par conséquent, le muscle se contracte pendant un certain temps en anaérobiose, puisant l'énergie nécessaire dans des réactions autres que d'oxydation, et contracte une « dette d'oxygène ». Lorsque le travail musculaire s'arrête, la demande d'oxygène par l'organisme ne revient pas immédiatement aux valeurs des conditions de repos, mais demeure élevée pendant un certain temps encore : le muscle paie alors sa « dette d'oxygène », c'est-à-dire réalise les réactions chimiques qu'il n'avait pu accomplir au départ, faute d'oxygène.

A cet égard, on distingue une « dette d'oxygène » à l'égard de l'acide lactique, qui définit la quantité d'oxygène nécessaire au muscle pour éliminer l'acide lactique qui s'est formé, et une « dette d'oxygène » indépendante de l'acide lactique, relative aux quantités d'oxygène nécessaires pour la dégradation des autres composés qui ont participé aux transformations intervenues durant la contraction.

LA FONCTION DU REIN

Les reins sont deux organes d'une structure très complexe ; ils sont situés dans la région abdominale, de part et d'autre de la colonne vertébrale, et ont approximativement la forme d'un haricot dont le hile (creux) est tourné vers l'intérieur.

En coupe longitudinale, le rein présente une zone externe, ou zone corticale, formée d'une substance granuleuse de couleur jaune-rougeâtre, riche en vaisseaux sanguins, et une zone plus interne, concentrique à la première, la zone médullaire, de structure fibreuse, dans laquelle se remarquent des formations striées coniques, dont la base est tournée vers la zone corticale : ce sont les pyramides de Malpighi, dont le nombre varie de 8 à 15.

A la partie interne de la zone médullaire, dans la région proche du hile, on note une cavité, le bassinet, d'où se détache l'uretère, canal destiné au transport de l'urine depuis le rein jusqu'à la vessie. Du hile se détachent non seulement l'uretère, mais aussi la veine rénale ; à son niveau, pénètre l'artère rénale.

Le sommet des pyramides de Malpighi, appelé papille rénale, est arrondi, lisse, criblé de petits trous, à travers lesquels le liquide excrété par le rein est déversé dans le bassinet, puis dans l'uretère.

Enfin, entre les pyramides de Malpighi, on observe des prolongements de la substance corticale qui s'insinuent entre la substance médullaire, prolongements appelés colonnes de Bertin ; de même, la substance médullaire remplit les rayons médullaires à l'intérieur de la substance corticale.

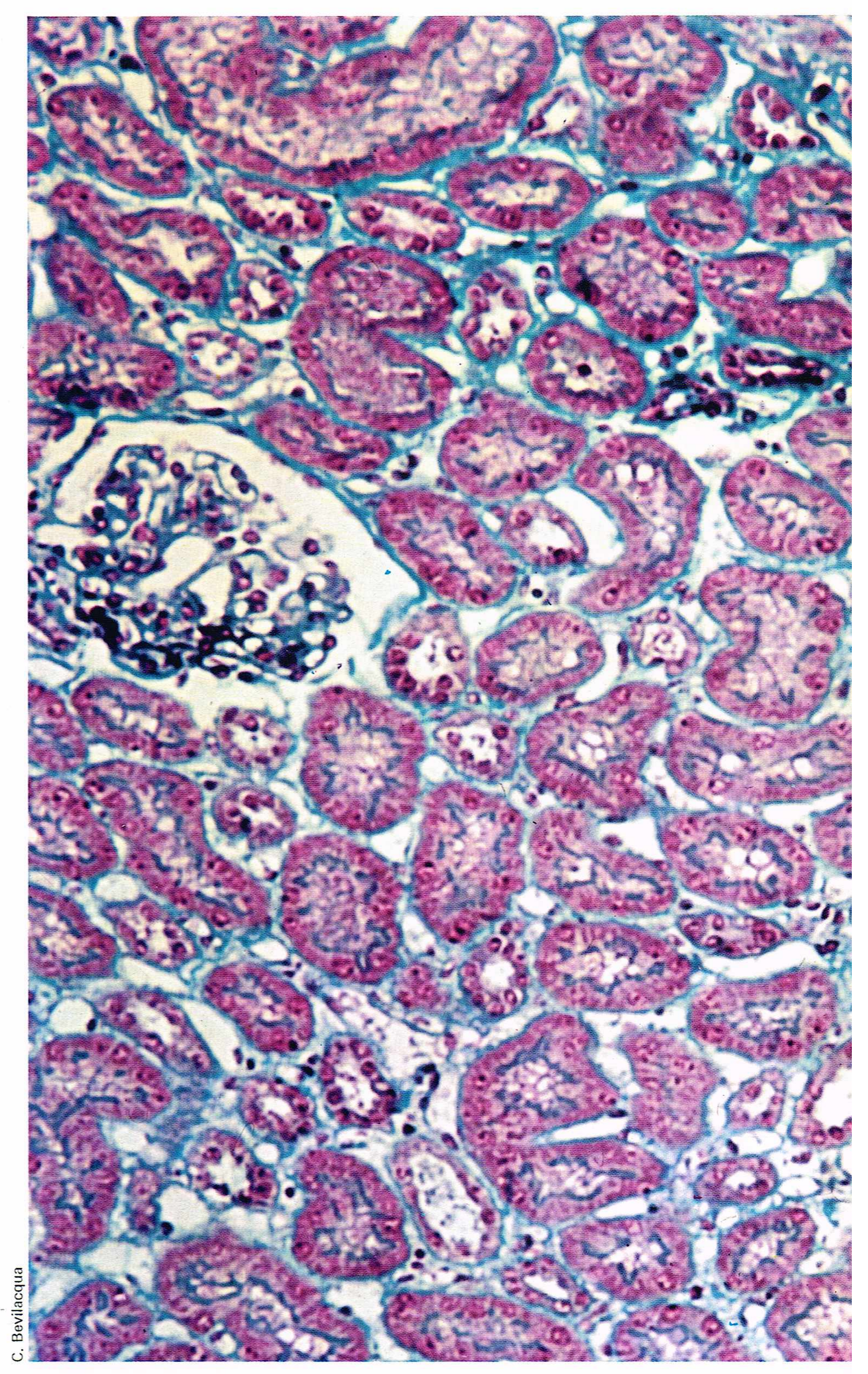
STRUCTURE DU REIN

A cette structure macroscopique correspond une structure microscopique beaucoup plus complexe et extrêmement importante du point de vue de la fonction du rein.

La substance corticale renferme un grand nombre de canalicules sinueux appelés tubes urinifères : chacun d'eux prend naissance dans une sorte de cupule, la capsule de Bowman, dans laquelle est enchâssé un peloton de vaisseaux sanguins, le glomérule de Malpighi, dont nous aurons l'occasion de parler plus loin. De la capsule de Bowman se détache le tube contourné de premier ordre, qui, après un trajet irrégulier, devient soudain plus grêle et rectiligne, plongeant dans la substance médullaire, dans laquelle il forme une anse, l'anse de Henlé ; la portion ascendante de l'anse retourne dans la partie corticale, où elle se poursuit dans le tube contourné de deuxième ordre, plus gros et pelotonné.

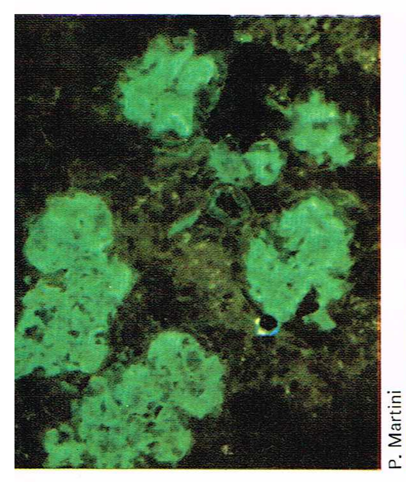
De nombreux tubes contournés de deuxième ordre vont confluer, après une « portion intercalaire », dans le tube de Bellini, sorte de collecteur qui, en même temps que les autres collecteurs de même type, débouche dans des canaux de calibre croissant, pour aboutir enfin à l'un des trous de la papille rénale.

Le sang est acheminé par l'intermédiaire de l'artère rénale, qui pénètre au niveau du hile et se subdivise peu après en plusieurs artères de calibre plus petit ; celles-ci, parvenues au niveau de la ligne de jonction entre substance médullaire et substance corticale, forment les « artères arquées », qui, à leur tour donnent naissance aux artères interlobulaires, de calibre toujours plus réduit, d'où se détachent enfin les artérioles afférentes (leur diamètre est d'environ 0,003-0,004 mm).

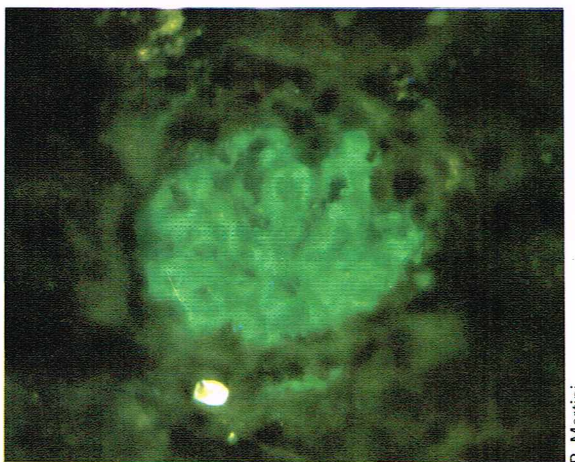


C. Bevilacqua

Photographie microscopique de tissu rénal : on y distingue quelques glomérules délimités par la capsule de Bowman et d'innombrables tubules plus ou moins dilatés, tantôt transversaux, tantôt obliques, tantôt longitudinaux (× 100 × 3,5 ; coloration de contraste).



P. Martini



P. Martini

Deux exemples d'application des anticorps fluorescents; les glomérules rénaux se détachent par fluorescence dans le tissu rénal.

Celles-ci pénètrent dans la capsule de Bowman où elles se capillarisent en formant un peloton de vaisseaux sanguins connu sous le nom de glomérule de Malpighi, dont nous avons déjà parlé. Les capillaires qui forment le glomérule de Malpighi confluent à nouveau en une artériole efférente, plus petite que l'artériole afférente ; à peine sortie de la capsule de Bowman, l'artériole efférente se capillarise à nouveau pour irriguer le territoire entourant le tube urinifère.

Une fois les échanges nutritifs réalisés, le sang artériel devient veineux, et le réseau capillaire des veinules conflue pour donner naissance à la veine rénale, qui sort au niveau du hile et se jette dans la veine cave ascendante.

En comparant la structure macroscopique du rein avec sa structure microscopique, nous observons que les tubes contournés, les capsules de Bowman et les très nombreux vaisseaux sanguins correspondent aux granulations jaune-rougeâtre de la zone corticale, tandis que la zone médullaire est formée par les pyramides de Malpighi, le tube de Bellini et les collecteurs qui s'y déversent.

LE REIN ORGANE D'ÉPURATION

Le rein a pour fonction essentielle de débarrasser le sang de toutes les substances de rejet qui seraient nuisibles à l'organisme si elles n'étaient pas éliminées; l'urine contient, dissous dans l'eau (95 %), outre des sels comme le chlorure de sodium et de potassium, des phosphates de calcium, d'ammonium, de magnésium, du sulfate et du bicarbonate de calcium, d'autres substances organiques comme l'urée (produit principal de la transformation des protéines), l'acide urique et ses urates de sodium, de potassium et d'ammonium, la créatinine, l'acide hippurique en petite quantité, des oxalates, de l'ammoniaque, et deux pigments, l'urochrome et l'urobiline, qui donne à l'urine sa couleur caractéristique.

Un sujet sain élimine environ 1 000 à 1 500 cm^3 d'urine par 24 h ; laissée à l'air libre, l'urine fermente sous l'action d'une bactérie (Micrococcus ureae) *qui scinde l'urée en trois composés plus simples, l'eau, l'anhydride carbonique et l'ammoniaque, dont les deux premiers sont immédiatement utilisables par les végétaux pour la production de nouvelles substances organiques (elles serviront à l'alimentation des organismes animaux) : ainsi fonctionne le cycle biologique.*

Le mécanisme de production d'urine par le rein est très complexe et a fait l'objet de longues controverses; nous essaierons d'en donner une description simplifiée.

Au niveau du glomérule de Malpighi, le sang est obligé de ralentir considérablement son cours à cause de la réduction du calibre (donc du débit) de l'artériole efférente ; ainsi, pendant que le sang traverse lentement le glomérule, on voit filtrer, à travers la paroi des capillaires et la paroi de la capsule de Bowman, un liquide pratiquement identique — abstraction faite des protéines — au plasma ; ce liquide ira se déverser dans cette même capsule de Bowman et dans le tubule rénal. En effet, des mesures de concentration moléculaire et de conductibilité électrique ont démontré que le filtrat glomérulaire (produit obtenu par filtration) correspond exactement au plasma sans protéines.

L'absence de protéines est due au fait que le seuil de filtration du glomérule est atteint par les substances dont le poids moléculaire est d'environ 68 000-70 000, ce qui exclut le passage des substances protéiques de poids moléculaire supérieur. Le passage d'albumine, protéine possédant le poids moléculaire le plus faible, est alors l'indice d'un état inflammatoire du rein (néphrite).

Le liquide que nous retrouvons dans la capsule de Bowman est donc composé en grande partie d'eau, contenant en solution de l'urée, du chlorure de sodium et du glucose, entre autres.

Sachant que le rein filtre environ 1 300-1 400 cm^3 de sang par minute et que l'émission d'urine ne dépasse pas 1 500 cm^3 par jour, sachant aussi que le glucose présent dans le filtrat de la capsule de Bowman est absent dans les urines (sauf dans certains états pathologiques), on doit en déduire qu'au niveau des tubules rénaux se produisent des transformations du liquide, opérées par l'activité de ces mêmes tubules.

En effet, 99 % de l'eau filtrée par le glomérule sont réabsorbés par les tubules, tandis que le 1 % restant entrera dans la composition de l'urine.

Le glucose présent dans le filtrat est réabsorbé par un processus à peu près identique ; mais la réabsorption ne pourra être complète que si le taux de glucose dans le sang ne dépasse pas 180 mg par 100 g de sang.

Au-delà, on assiste au passage du glucose dans les urines (glucosurie), comme cela se produit dans le diabète, maladie dont la caractéristique fondamentale est justement une hyperglycémie. C'est par le même processus de filtration que sont éliminées les substances de déchet comme l'urée et la créatine : grâce à l'activité sécrétoire des tubules rénaux, ces corps passent des capillaires veineux qui entourent les tubules à l'intérieur de ces derniers, pour être éliminés dans l'urine.

Celle-ci, enfin, après avoir atteint sa composition définitive selon les processus que nous venons de décrire, sourd par les petits trous de la papille rénale et se déverse dans le bassinet puis dans l'uretère ; de là elle passe dans la vessie, puis est évacuée à travers l'urètre par contraction de la vessie.

L'expérience suivante nous fournit une preuve supplémentaire de l'intense activité d'épuration exercée par le rein : si l'on injecte dans la circulation sanguine de l'urine à raison de 30-50 cm^3 par kg de poids du sujet d'expérience, celui-ci meurt à cause de la haute toxicité de l'urine. Au filtrat du glomérule, semblable au plasma, s'est donc ajoutée une quantité de substances toxiques suffisamment importante pour lui conférer une action mortelle.

Une phase de la détermination de l'uricémie (taux d'acide urique dans le sang).



P. Martini

LES POLLUTIONS ET LA NATURE

Voici peu d'années encore, le mot d'écologie était connu des seuls spécialistes. Il ne s'agissait alors que de la science des rapports entre les êtres vivants et leur milieu. Aujourd'hui, l'écologie est devenue en quelque sorte l'instrument d'une alternative, d'une transformation de notre civilisation.

Il suffit de regarder la première page des journaux ou d'écouter la radio pour se rendre compte de l'importance prise par le problème de la défense de l'environnement, autre mot aujourd'hui en vogue.

Les premières craintes de voir se multiplier les causes de pollution se manifestaient il y a peine dix ans, et voici que dès aujourd'hui la nature porte les traces évidentes des meurtrissures que nous lui infligeons dans l'air, dans le sol et dans les eaux. Les progrès de la chimie ont entraîné une très large diffusion des matières plastiques dans les emplois les plus divers, à commencer par les films cellulosiques qui enveloppent la plupart des articles vendus dans les supermarchés.

Les ménagères elles-mêmes ont volontiers troqué les plats ou couvercles en faïence ou en émail contre des objets en matière plastique, et sans doute pas à l'avantage de l'hygiène. Le plastique a envahi aussi l'automobile dans des applications très diverses, y compris la réalisation de carrosseries. Le caractère pratique des objets en plastique, leur faible coût de production font que trop souvent on sous-évalue ou l'on passe sous silence les dangers d'une aussi large diffusion, à commencer par les fumées toxiques rejetées par les cheminées des usines qui les fabriquent.

Ces fumées industrielles, les gaz d'échappement des voitures, les fumées domestiques et un certain nombre d'autres émanations gazeuses forment souvent le fameux « smog » qui non seulement obscurcit et salit nos villes, mais, en outre, se dépose dans les poumons des hommes et des animaux, où il forme une couche grasse chargée de particules nocives tant en raison de leur nature chimique que de leur forme; en effet, ces particules se présentent souvent comme des cristaux pointus, susceptibles de provoquer des lésions au niveau des tissus.

LA NATURE EN DANGER

Pour la satisfaction de ses besoins, l'homme n'hésite pas à transformer la nature en épuisant ses réserves et en modifiant profondément l'équilibre biologique. Ainsi, par exemple, l'emploi d'insecticides toujours plus puissants dans la lutte contre certains Insectes entraîne en même temps la disparition d'autres espèces auxquelles les premiers servaient de nourriture; ces espèces étaient les antagonistes naturels d'autres parasites qui se trouveront ainsi libres de proliférer. Ainsi s'instaure un cercle vicieux qui aboutit à une perturbation de l'équilibre naturel et des mécanismes délicats qui le régissent.

L'emploi d'hormones dans l'élevage des poulets ou dans la culture des fleurs procure sans doute de plus grands profits à l'agriculteur ou au commerçant mais entraîne aussi des inconvénients, présents et futurs, pour la santé de l'homme.

ÉLIMINATION DES DÉCHETS ET POLLUTION

Les engrais et les désherbants empoisonnent le sol; les détergents non biodégradables (c'est-à-dire qui ne peuvent être détruits par les Bactéries) polluent les eaux et les terrains; les émanations des usines polluent l'air.

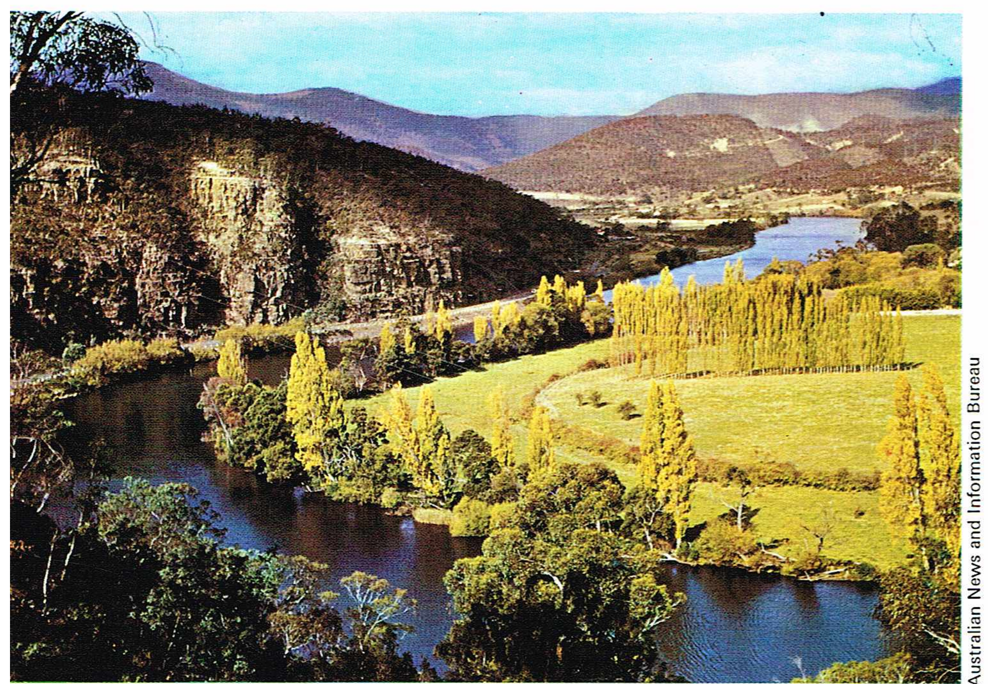
Pour détruire les déchets, on crée de nouvelles causes de pollution, comme les fumées des incinérateurs ou les produits utilisés pour l'épuration de l'eau des fleuves, dont le résultat le plus certain est de polluer aussi l'eau de la mer.

La mer, elle aussi, atteint à de nombreux endroits un inquiétant niveau de saturation en produits nocifs. Sur les côtes de Camargue, on voit se déposer une sorte d'écume toxique; au large des petites baies de la Ligurie flottent des nappes de pétrole; les oiseaux de mer

S. Prato



Vue aérienne d'un quartier résidentiel d'Auckland (Nouvelle-Zélande). On remarquera dans cette ordonnancement le souci évident de la création d'espaces verts.



Australian News and Information Bureau

Paysage de Tasmanie ; même dans les dernières terres conquises, l'homme civilisé implante son agriculture intensive, ouvre des routes pour ses automobiles, amorçant ainsi le processus des déséquilibres biologiques et de la pollution.

meurent englués par milliers dans le mazout rejeté en mer par les pétroliers... Récemment, les pêcheurs ont barré le port de Deauville pour protester contre la pollution de la baie de Seine, qui fait mourir les Poissons.

LA DÉGRADATION ÉCOLOGIQUE

On pourrait continuer de citer des exemples par centaines, dont les moins spectaculaires ne sont pas les moins graves. Que l'on pense, par exemple, à la disparition des Algues d'un lac : il s'agit là d'un phénomène qui passe inaperçu pour la plupart, et pourtant ces Algues sont des êtres autotrophes, capables, autrement dit, de transformer les substances inorganiques en substances organiques, qui constitueront la nourriture des animaux plus petits dont s'alimentent les Poissons, et ainsi de suite.

Les animaux, de leur côté, émettent dans l'eau leurs déjections organiques, que certaines Bactéries transforment en composés inorganiques, utiles aux Algues. Or, si les Algues disparaissent, attaquées par des déchets nuisibles et non biodégradables, avec elles disparaissent les producteurs de substances organiques et d'oxygène : d'où la mort des animaux et des Bactéries qui se nourrissaient de leurs déjections, lesquelles rendaient possible à leur tour l'alimentation d'autres végétaux. Ainsi toute vie disparaîtrait de ce lac, et il serait très difficile de le repeupler.

Il suffit donc de la disparition d'une ou deux espèces végétales, bien représentées et actives, pour entraîner une telle catastrophe. Qu'adviendrait-il si un tel phénomène se produisait dans la mer, aboutissant à la stérilisation de cette source inépuisable d'organismes vivants, siège d'incessantes transformations chimiques qui permettent de purifier tous les déchets ?

La pollution de l'air n'est pas moins inquiétante : des fumées noires et épaisses empêchent le soleil de venir purifier l'air des villes, déjà appauvri de par l'insuffisance des espaces verts.

Et que dire des atteintes dont font l'objet les produits alimentaires et des graves conséquences qu'elles entraînent, tels que troubles métaboliques, risques de cancer et même, probablement, risques génétiques !

Le sol, inondé d'engrais chimiques, n'est pas davantage épargné.

De toutes parts, le danger nous guette.

L'HEURE DU CHOIX

Les écologistes, les protecteurs de la nature ne sont pas d'accord entre eux sur la façon de sauver ce qui peut l'être encore. Certains refusent de politiser leur lutte : ils pensent que les progrès techniques joints à des réglements draconiens doivent suffire. Ils mettent en avant le principe « pollueur-payeur ».

En France, par exemple, des « Agences de Bassin » perçoivent des redevances auprès des industriels pollueurs. Le résultat est une légère baisse de la pollution des eaux douces.

D'autres mouvements pensent qu'il faut aller plus loin. Groupés en innombrables associations (celle des Amis de la Terre *est particulièrement puissante), appuyés par de nombreux journaux ou bulletins, ils proposent des solutions plus révolutionnaires. René Dumont s'est fait leur porte-parole au cours de la campagne présidentielle de 1974.*

A l'automobile, progrès devenu source de nuisances, ces écologistes préfèrent les transports en commun ou la bicyclette. Ils prônent l'agriculture biologique, sans engrais ni pesticides. Ils font une intense propagande en faveur des énergies solaire et éolienne, et militent vigoureusement contre l'énergie nucléaire, aux conséquences lourdes de risques...

Les jeunes sont à la pointe du mouvement écologique. Peut-être plus conscients que leurs aînés des dangers qui pèsent sur notre planète, ils sauront redresser à temps la situation : car sauver la nature et l'environnement, c'est aussi sauver l'homme.

Deux spectacles désolants : déboisement mécanique (ci-dessous) et installations industrielles en pleine campagne (tours de réfrigération des centrales électriques à Lardarello en Toscane). Souvent, ce n'est pas la première installation qui est nuisible, mais la concentration d'industries qu'elle entraîne nécessairement.



T. Poggio



T. Poggio

LA GÉOLOGIE

L'homme primitif recherchait déjà dans les roches et les minéraux les matériaux nécessaires à la fabrication des armes et des ustensiles de sa vie quotidienne.
Nous sommes toujours tributaires des multiples ressources du règne minéral, éléments indispensables à notre civilisation. Notre vie matérielle nécessite toujours plus de métaux, de matériaux de construction, de sources d'énergie, sans oublier l'eau, ce bien si précieux. Il n'est jusqu'à notre goût du beau qui ne trouve à se satisfaire, les minéraux et les roches étant utilisés dans un but décoratif tant dans le domaine des gemmes que dans celui de la gravure, de l'architecture, etc.
Ce sont tous ces matériaux utiles ou agréables à l'homme qui font l'objet des pages qui vont suivre.

LES MÉTAUX UTILES

Les expressions « métal utile », « métal précieux », « métal noble » font partie du langage courant; or les critères d' « utilité » d'un métal sont difficilement définissables, puisque aujourd'hui presque tous les métaux, à l'état pur, en alliages ou sous forme de composés variés trouvent des applications dans des emplois courants ou scientifiques.

Pour qu'un métal soit largement utilisé, il faut qu'il présente certaines propriétés physiques et mécaniques, et qu'il soit facile à extraire, à traiter et à travailler. En fait, la plus ou moins grande abondance d'un métal dans la nature joue surtout sur son prix, beaucoup plus que sur la diffusion de son emploi. La notion « d'utilité » dépend donc aussi de l'évolution de la science et de la technique.

LE FER ET SES ALLIAGES

Le fer est le métal de loin le plus connu et le plus largement utilisé depuis des temps immémoriaux. De tous les métaux lourds, il est le plus abondant dans la croûte terrestre et aussi le moins cher, bien que le prix de certains de ses alliages soit comparable à celui de l'or. On le trouve rarement à l'état d'élément, presque exclusivement dans certaines météorites appelées « sidérites »; on a découvert quelques petits gisements de fer natif d'origine terrestre dans les régions arctiques, surtout au Groenland.

En revanche, le fer est très répandu sous forme d'oxydes, d'hydroxydes, de carbonates, de sulfures, de phosphates et de silicates; les minerais exploitables sont en nombre limité; ce sont essentiellement certains oxydes, les oxydes hydratés et le carbonate de fer.

Le plus important des oxydes ferriques est l'hématite (Fe_2O_3), appelée aussi oligiste lorsqu'elle se présente en cristaux; on la rencontre aussi en masses d'aspect terreux, partiellement hydratées, d'une couleur ocre rouge. Les gisements d'hématite sont très nombreux.

Les limonites ont une composition variable; elles sont formées d'oxyde ferrique (Fe_2O_3), diversement hydraté, de couleur jaune ou brune (« ocre jaune »). On trouve en Lorraine des gisements où abonde une variété de limonite connue sous le nom de « minette » de Lorraine, particulièrement riche en phosphore. Celui-ci en complique le traitement métallurgique, ce qui n'a pourtant pas empêché la naissance d'une florissante industrie sidérurgique.

Un autre oxyde de fer très important est la magnétite (Fe_3O_4) : d'un noir brillant, elle possède des propriétés magnétiques (« aimant naturel »); la magnétite est également très répandue et forme d'importants gisements, dont les plus célèbres sont ceux de Kiruna et de Gällivare, en Suède, qui fournissent un minerai très pur. Ils ont contribué à la prospérité industrielle de la Suède.

Le carbonate de fer ($FeCO_3$), ou sidérite, ou fer spathique, moins répandu, est également utilisé pour l'extraction du fer : on en trouve en Italie, dans certaines localités des Alpes. C'est de ce minerai que provenait le fer utilisé pour la fabrication des armes qui rendirent si célèbres les armuriers italiens.

Les marcassites et pyrites sont des sulfures de fer (FeS_2) également très répandus, employés surtout pour la production d'acide sulfurique; on les utilise aussi pour la fabrication de la fonte, mais celle-ci est habituellement de qualité médiocre à cause du soufre qu'elle contient et qui la rend très cassante.

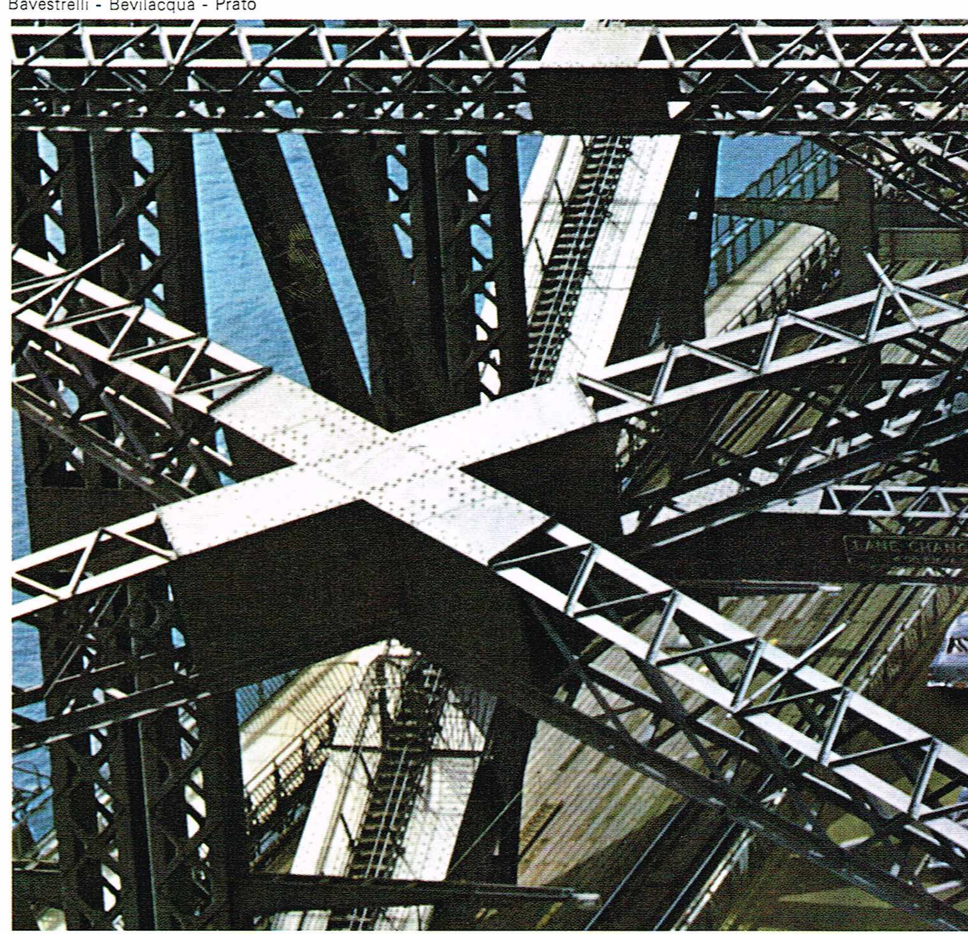
Outre ceux que nous venons de citer, les principaux gisements de fer européens se trouvent dans la Ruhr, en Haute-Silésie (Allemagne), en Espagne septentrionale, en U.R.S.S. (Ukraine, Oural) et en Grande-Bretagne. Mais aujourd'hui, les plus grands producteurs de fer sont les U.S.A. qui possèdent de riches gisements en différents points de leur territoire, notamment près du lac Supérieur; c'est grâce à ces gisements qu'a pu se développer la grande industrie sidérurgique américaine. Des dépôts très importants existent aussi au Brésil et au Venezuela.

Les emplois du fer sont extrêmement nombreux; il est généralement utilisé sous forme d'acier, très résistant aux déformations mécaniques. D'autres éléments que le fer entrent dans la composition d'un grand nombre d'aciers et leur confèrent des propriétés particulières de résistance, de dureté, d'élasticité, d'inoxydabilité. L'acier est utilisé dans la construction de navires, d'automobiles, de rails, de véhicules de chemin de fer, de ponts, d'immeubles, d'armes et de blindages, ainsi que dans de très nombreuses applications particulières.

De nombreux métaux sont alliés au fer pour la production des aciers : le manganèse sert à augmenter la dureté; ses principaux minerais exploités industriellement sont : les oxydes de manganèse : pyrolusite (MnO_2), hausmannite (Mn_3O_4) et braunite (Mn_2O_3); l'oxyde hydraté : Mn_2O_3, H_2O et le carbonate : rhodocrosite ($MnCO_3$). Les principaux pays producteurs sont l'U.R.S.S., l'Inde, l'Afrique du Sud et la Côte-d'Ivoire.

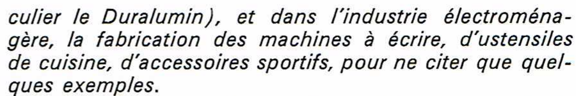
Le chrome renforce la résistance mécanique des aciers et les rend moins facilement oxydables; le seul minerai de chrome exploité est la chromite (FeO, Cr_2O_3),

Bavestrelli - Bevilacqua - Prato



L'ossature du grand Pont de Sydney, en Australie, constitue un exemple éloquent de l'utilité du fer et de l'acier.

Bavestrelli - Bevilacqua - Prato



Pied à coulisse fabriqué en acier au nickel-chrome.

dont les principaux gisements se trouvent en U.R.S.S., en Turquie, en Afrique du Sud, en Rhodésie, à Cuba et dans de nombreux autres pays.

Le molybdène et le tungstène entrent principalement dans la fabrication d'aciers spéciaux très durs et dans celle d'autres alliages, également très durs. Le molybdène peut se trouver sous forme de molybdates, mais le seul minerai industriellement utilisé est le sulfure de molybdène (MoS_2) ou molybdénite, que l'on trouve surtout en Australie, aux États-Unis, au Canada et en Norvège. Le tungstène est extrait à partir de certains tungstates, dont les principaux sont la scheelite, $CaWO_4$, la wolframite, $(Fe, Mn)WO_4$, et la stolzite, Pb, WO_4; les principaux pays producteurs sont la Chine, les U.S.A., les deux Corées et le Portugal.

Le vanadium est lui aussi très employé, surtout dans les aciers pour outils; on le trouve dans la nature sous forme de vanadinite (chlorovanadate de plomb), de patronite (sulfure), de carnotite (qui est un vanadate d'uranium et de potassium), utile aussi comme minerai d'uranium, et de roscoélite, silicate de vanadium et d'aluminium. Les principaux producteurs sont l'Afrique du Sud et le Pérou.

Le niobium et le tantale servent également dans la production de certains aciers spéciaux; on les rencontre souvent associés, formant des niobates et des tantalates (principalement dans l'euxénite et dans le polycrase). Les principaux producteurs sont le Nigeria pour le niobium, le Congo et le Brésil pour le tantale.

Le cobalt et le nickel sont aussi utilisés dans les aciers ainsi que dans d'autres types d'alliages, le second, en particulier, associé au chrome dans les aciers inoxydables. Les plus importants minerais de cobalt sont la smaltite ($CoAs_2$) et la cobaltite ($CoAsS$); il est également extrait de minerais d'autres éléments où il apparaît comme un composant secondaire. Les principaux pays producteurs sont le Zaïre et le Canada.

Le nickel se trouve dans de nombreux sulfures, arséniures et antimoniures (millerite, nickelite, gersdorffite, breithauptite, chloantite et ullmanite), et dans un silicate, la garniérite, dont les seuls gisements exploitables sont situés en Nouvelle-Calédonie. Toutefois, une bonne partie de la production provient de minerais d'autres éléments, en particulier à Sudbury au Canada. La métallurgie du nickel est assez complexe.

L'ALUMINIUM

Un autre métal, aujourd'hui très utilisé, principalement sous forme d'alliages, est l'aluminium. Il est fort abondant dans la croûte terrestre puisqu'il entre dans la composition d'un très grand nombre de silicates (feldspaths, kaolin, argiles, leucite, micas), dont il est difficile à extraire.

On obtient l'aluminium à partir des oxydes et des hydroxydes. Le corindon (Al_2O_3), en raison de sa très grande dureté, est employé comme abrasif; certaines variétés de ce minéral, limpides et contenant des traces d'impuretés qui le colorent, sont des gemmes de grande valeur comme le rubis et le saphir. Le principal minerai est la bauxite; c'est un mélange d'hydroxydes d'aluminium (diaspore et hydrargillite) et d'espèces minérales variées. La métallurgie de l'aluminium n'est pas aussi simple que celle du fer : elle nécessite l'emploi de fours électriques et de la cryolithe (Na_3AlF_6). C'est un minéral assez rare dont le seul gisement important est celui d'Ivigtut au Groenland. Il est utilisé comme fondant et permet d'abaisser la température de fusion du minerai. On le produit aujourd'hui artificiellement à partir de la fluorite (CaF_2).

La production industrielle de l'aluminium a débuté en France et en Amérique vers 1886. Elle s'est accrue à un rythme très rapide. Les alliages d'aluminium se prêtent à de nombreuses applications car ils sont mécaniquement très résistants et plus légers que les alliages du fer. Ils ont un rôle très important dans la construction aéronautique, en raison de leur faible densité (en particulier le Duralumin), et dans l'industrie électroménagère, la fabrication des machines à écrire, d'ustensiles de cuisine, d'accessoires sportifs, pour ne citer que quelques exemples.

Les dépôts de bauxite sont très nombreux; il en existe d'importants en France (Provence) ainsi qu'en Europe centrale (Hongrie, Roumanie, Yougoslavie); d'autres, très riches, existent aux États-Unis, en Indonésie, au Brésil, en Guyane, au Surinam, en U.R.S.S. et à la Jamaïque qui est l'un des principaux producteurs de ce minerai.

LE CUIVRE

Le cuivre est lui aussi très utilisé, soit pur, soit sous forme d'alliages (laiton et bronze). On peut le trouver à l'état natif, en quantités importantes, près du lac Supérieur (U.S.A.) et au Chili, ou sous forme de sulfures (chalcosite, bornite), de sulfures doubles (chalcopyrite) et d'oxydes (cuprite). Enfin, il existe d'autres minéraux « cuprifères » comme la malachite et l'azurite (carbonates basiques), le chrysocolle et le dioptase (silicates) qui ne sont employés que comme pierres ornementales.

Les principaux producteurs de cuivre sont les U.S.A., l'U.R.S.S., la Zambie, le Chili, le Canada et le Zaïre. Il est possible d'exploiter des gisements à faible teneur comme ceux de pyrite cuprifère du Rio Tinto en Espagne. Au cours de la purification électrolytique du cuivre, les résidus livrent des métaux rares ou précieux dont ce traitement constitue la source principale.

AUTRES MÉTAUX UTILES

Le zinc qui est utilisé soit à l'état pur, soit allié au cuivre dans le laiton, se trouve sous forme de sulfure, la blende (encore appelée sphalérite), qui apparaît souvent en cristaux d'une grande beauté, de carbonate (smithsonite) et de silicate (calamine). La blende est très souvent associée à la galène (sulfure de plomb).

Les principaux producteurs de zinc sont : les U.S.A., le Canada, l'Australie, le Mexique, suivis d'autres pays tels que l'Italie (gisements de Sardaigne et des Alpes).

Le plomb est utilisé pour fabriquer des plaques d'accumulateurs, des tuyaux, des projectiles pour la chasse, des alliages spéciaux, des caractères typographiques... mais il n'a pas d'application mécanique car c'est un métal mou. Le principal minerai de plomb, et le seul traité industriellement, est la galène qui contient souvent de petites quantités d'argent.

Les U.S.A., l'U.R.S.S., le Mexique et l'Australie en sont les plus grands producteurs.

L'étain est un métal dont l'emploi est très ancien; il est utilisé principalement sous forme d'alliage (bronze et alliages antifriction); il est extrait de la cassitérite (SnO_2) qui n'est pas très abondante. Les principales mines sont celles de Malaisie, d'Indonésie, de Bolivie, du Nigeria, de Thaïlande et de Chine. En Italie, des gisements exploités dans l'Antiquité, mais aujourd'hui sans importance industrielle, se situent en Toscane; il en est de même des gisements de Bretagne.

Le magnésium, le béryllium et le bore méritent également quelques lignes. Le premier est surtout utilisé en alliage, comme l'aluminium, en raison de sa faible densité. Le béryllium et le bore entrent dans la composition de différents alliages de fer, de cuivre, d'aluminium, le béryllium leur conférant une dureté remarquable. Il s'obtient à partir du béryl, dont les variétés, émeraude et aigue-marine, sont des gemmes de grande valeur.

Enfin, nous évoquerons le titane qui se trouve dans la nature essentiellement sous forme d'oxydes (rutile, anatase et brookite). Le rutile est un composant accessoire de nombreuses roches mais ses gisements d'importance industrielle ne se trouvent qu'au Brésil et en Australie. Quelques titanates (ilménite, perowskite et titanite) sont aussi exploités industriellement en Norvège, en Inde et au Brésil. Le métal doit être obtenu pur, sous atmosphère d'argon, faute de quoi sa fragilité le rend inutilisable. Son abondance et ses caractéristiques techniques (légèreté, très haute résistance mécanique même à haute température) lui confèrent une importance considérable dans la métallurgie moderne ainsi que dans la construction spatiale, qu'il soit pur ou allié à d'autres éléments.



La ductilité du plomb (son aptitude à être étiré) permet de fabriquer des tuyaux à usages industriels ou domestiques.

Bavestrelli - Bevilacqua - Prato

LES MÉTAUX PRÉCIEUX

Beaucoup de métaux doivent leur prix élevé à leur rareté ; il en est ainsi, par ordre de prix croissant, du mercure, du rhénium, du radium. Mais, lorsqu'on parle de « métaux précieux », on se réfère à quelque chose d'autre que le simple prix. En effet, cette notion se rattache à celle de bijoux, de monnaies, d'objets finement travaillés, où l'habileté de l'artisan compte au moins autant que le prix de la matière.

D'ailleurs, les métaux qu'on qualifie de précieux, c'est-à-dire l'argent, l'or, le platine (et les cinq éléments de la famille du platine) présentent une ductilité (aptitude à être étiré) et une malléabilité qui les rendent particulièrement aptes au travail de l'artiste. Ils sont encore appelés « métaux nobles ».

L'or et l'argent, dont les minerais sont faciles à reconnaître et à traiter, étaient utilisés dès la plus haute Antiquité pour la fabrication de pièces de monnaie ; ils jouèrent ainsi un rôle considérable dans le développement des échanges commerciaux et, aujourd'hui encore, l'or constitue des « réserves » qui garantissent la valeur des monnaies émises par les États.

L'ARGENT

On peut le trouver à l'état natif, plus ou moins pur ; les principales impuretés sont constituées par des particules de cuivre, d'or, de mercure, d'antimoine. Mais il existe aussi de nombreux minerais d'argent : à côté de l'argentite, qui est le plus important des sulfures d'argent, répondant à la formule Ag_2S, il existe beaucoup d'autres sulfures et sulfosels à partir desquels on extrait le métal (rappelons la stromeyerite, la miargyrite, la pyrargyrite, la stéphanite, la polyargyrite, la proustite). Plus rare est le chlorure d'argent, AgCl, ou cérargyrite.

Les tétraédrites contiennent aussi de l'argent ; en outre, il est extrait de la galène (PbS) qui en contient de faibles quantités, généralement de l'ordre de 1 pour mille, ou parfois, mais rarement, 1 pour cent.

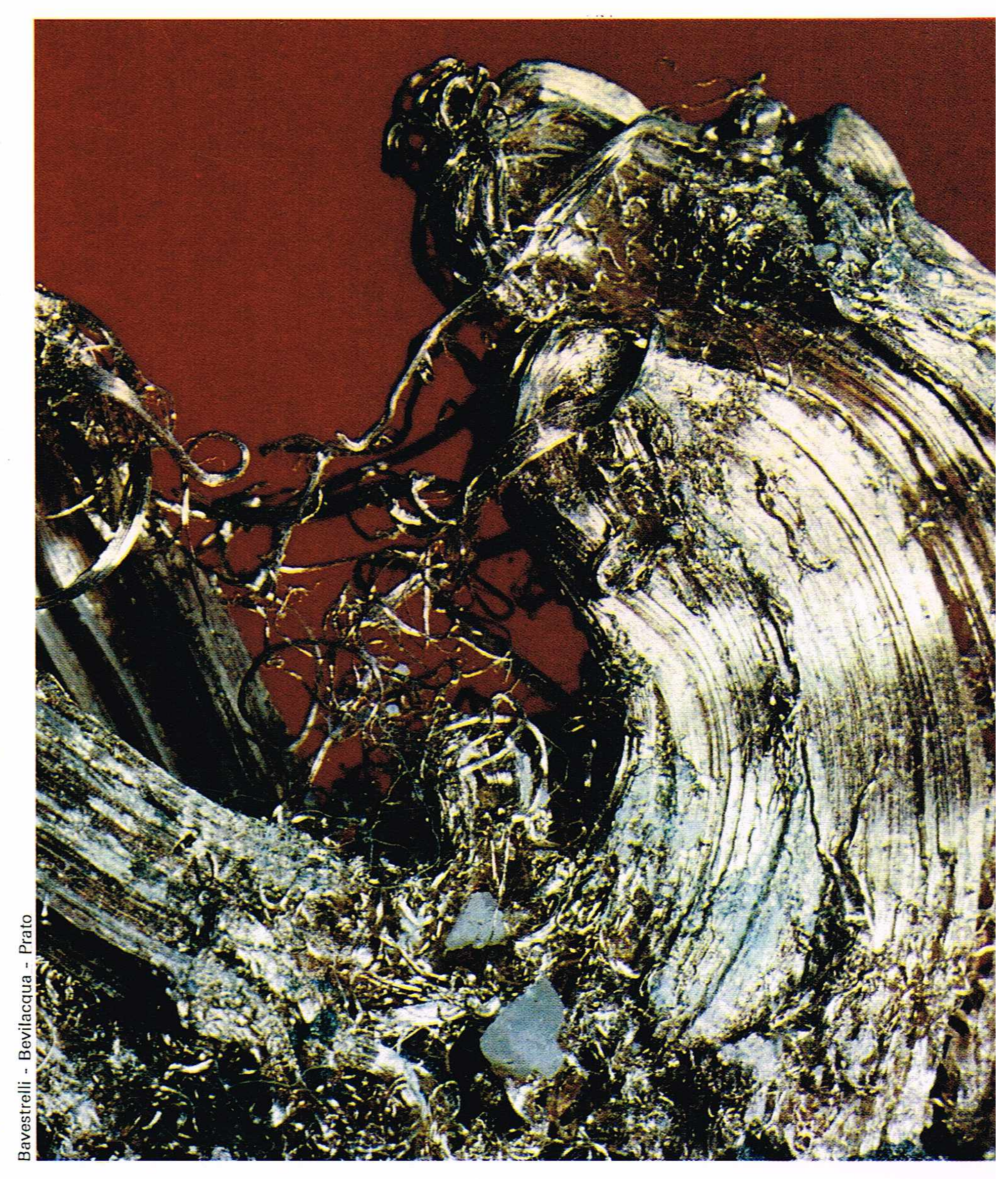
Les principaux gisements exploités dans l'Antiquité étaient ceux d'Asie Mineure, d'Attique (Grèce), et d'Espagne. Au Moyen Age, à partir du XIe siècle, les mines de Saxe et du Harz, en Allemagne, et les mines hongroises connurent une grande activité. Au XVIe siècle, après la découverte de l'Amérique, la plus grande partie du métal provenait des très riches gisements de l'Amérique Centrale et de l'Amérique du Sud, et plus tard des gisements de la partie sud-occidentale des États-Unis.

Les procédés par lesquels le métal est extrait de ces minerais sont essentiellement semblables à ceux utilisés dans le cas de l'or ; les minerais sont traités par le mercure et le fer, ce qui donne lieu à la formation de l'amalgame d'argent. Ils sont ensuite distillés afin d'éliminer le mercure. L'argent, concentré dans le résidu, est purifié par électrolyse. Ce traitement est appelé « amalgamation ».

Enfin, les résidus de l'amalgamation sont traités par une solution de cyanure de sodium : celui-ci entraîne l'argent en solution, que l'on précipite à nouveau par le zinc métallique et que l'on purifie.

Des quantités non négligeables d'argent, contenues sous forme d'impuretés dans les minerais de cuivre, sont récupérés dans les résidus de la purification électrolytique du cuivre.

Le prix de l'argent a beaucoup varié dans le temps ; dans la Rome antique, il correspondait à un douzième du prix de l'or ; à la fin du XIXe siècle, son prix n'était plus que le trentième de celui de l'or, pour descendre à un quarantième, il y a quelques années (c'est-à-dire environ 200 francs le kilo). Mais aujourd'hui la valeur de l'argent remonte, du fait notamment des nombreux emplois que ce métal trouve en électronique.



Bavestrelli - Bevilacqua - Prato

Argent natif. Cagliari (Musée d'Histoire naturelle de Milan).

L'argent utilisé dans la fabrication des monnaies, des bijoux et autres objets (couverts, coupes, plateaux) contient généralement un faible pourcentage d'autres métaux, notamment de cuivre, qui lui confèrent une plus grande dureté ; la composition des alliages est exprimée en « millièmes ». L'argent est en outre utilisé pour « argenter » des objets constitués de métaux plus communs.

Au cours de la dernière guerre mondiale, l'argent connut une utilisation singulière aux États-Unis ; en effet, en raison de la rareté du cuivre, les Américains employèrent l'argent pour fabriquer des câbles électriques. L'industrie photographique fait une large utilisation de sels d'argent dans la préparation d'émulsions pour films.

L'OR

L'or, métal précieux par excellence, se trouve principalement à l'état natif dans des roches cristallines très riches en quartz ou dans des sables « aurifères » (sous forme de paillettes ou de pépites) qui proviennent de la désagrégation de ces roches sous l'action des agents atmosphériques.

Mais il existe aussi de nombreux minerais d'or, à partir desquels le métal est extrait; les principaux sont des tellurures (sylvanite, calavérite et nagyagite) et certains séléniures. En outre, d'importantes quantités d'or sont obtenues à partir des résidus du raffinage électrolytique du cuivre.

L'or fut abondamment utilisé par certains peuples de l'Antiquité : les découvertes archéologiques ont mis au jour d'importants trésors comprenant des objets en or, le plus célèbre d'entre eux étant celui découvert dans la tombe du pharaon Toutankhamon. Un seul des sarcophages contenant la momie du roi, tout en or et en émail, pèse 600 kilos. Les principaux gisements de l'Antiquité étaient ceux de Nubie (Afrique septentrionale), d'Asie Mineure et de l'Inde; les Romains exploitèrent les gisements d'Espagne, du Portugal et de la Gaule.

Au Moyen Age, les gisements les plus exploités furent ceux de Bohême et de Transylvanie (Europe Centrale). Après la découverte de l'Amérique, c'est le Nouveau Continent qui devint le principal producteur d'or. Les Espagnols exploitèrent les mines d'Amérique Centrale et d'Amérique du Sud, notamment celles du Pérou. D'autres gisements importants furent découverts au XIXe siècle dans le Colorado et en Californie (États-Unis); c'est vers ces gisements que se produisit la « ruée vers l'or ». Par la suite, on trouva aussi de l'or en Alaska, en Australie et dans le Transvaal. Les mines de l'Oural, en U.R.S.S., fournissent aussi d'importantes quantités d'or.

En 1972, la production mondiale (U.R.S.S. et pays socialistes exclus) a été de 40 000 milliers d'onces-fines (l'once-fine valant 31 grammes), dont 31 370 provenant de la République Sud-Africaine, 2 235 du Canada, 1 500 des États-Unis et 700 du Ghana. L'or natif est extrait par des procédés d'amalgamation et de cyanuration, analogues à ceux appliqués pour l'obtention de l'argent.

Les roches siliceuses contenant le métal natif doivent être préalablement broyées; en revanche, les sulfures, les tellurures et les séléniures doivent être enrichis par flottation. Pour être intéressant à exploiter il suffit qu'un minerai contienne 10 grammes d'or à la tonne s'il s'agit d'une roche et 3 grammes seulement s'il s'agit de sable.

Dans les riches gisements du Transvaal, le métal et sa gangue se trouvent sous forme de filons qui dépassent rarement l'épaisseur d'un mètre, mais longs de plusieurs kilomètres. On fait sauter la roche à la dynamite, et les fragments, subdivisés en parcelles de la grosseur d'un poing, sont introduits dans des broyeurs spéciaux dont les pilons travaillent dans de vastes bacs à eau. Le sable issu de ce traitement est entraîné par l'eau et glisse sur des plaques de cuivre amalgamé. Le mercure retient l'or sous forme d'amalgame. Les plaques sont ensuite raclées et l'amalgame soumis à distillation; en fin d'opération, le mercure est recyclé. L'or ainsi obtenu contient jusqu'à 15 % d'argent.

La boue demeurée au fond des bacs des concasseurs est traitée à froid par une solution diluée de cyanure de sodium pendant quelques jours; l'or, passé en solution, est ensuite précipité par le zinc. Le métal est purifié par « coupellation », mais l'argent ne peut être éliminé que par quartage : cette opération consiste à ajouter de l'argent jusqu'à obtention d'un alliage constitué pour 3/4 d'or et pour 1/4 d'argent. Cet alliage peut être attaqué par l'acide nitrique (ou sulfurique chaud), qui dissout l'argent et laisse l'or comme résidu.

L'or est ensuite affiné par électrolyse ; ce procédé permet d'atteindre une pureté supérieure à 99,98 %. Dans les résidus de l'électrolyse on peut récupérer du platine, de l'iridium, du rhodium et du ruthénium.

Comme l'argent, l'or est aussi généralement employé en alliage avec d'autres métaux, qui le rendent plus dur. La composition des alliages est exprimée en carats : l'or « 24 carats » est le métal pur. Les alliages habituellement utilisés contiennent 18 ou 14 parts (en poids) d'or sur 24 parts d'alliage. Aujourd'hui, on exprime aussi la composition de l'alliage en millième.

L'or blanc, utilisé en bijouterie et en prothèse dentaire, contient souvent du nickel. La dorure d'objets constitués par des métaux non précieux est une pratique assez répandue.

LE PLATINE

Le platine est généralement accompagné de cinq autres métaux, tous très rares et fort chers, dont l'emploi est pratiquement limité au domaine de la technologie et des instruments scientifiques. Ces métaux sont : le ruthénium, l'osmium, le rhodium, l'iridium et le palladium.

On les trouve tous à l'état natif, formant entre eux des alliages. Le platine, qui est de loin le plus abondant des six, a été également trouvé dans certaines météorites. Il se concentre dans les magmas basiques tels que ceux qui donnent naissance à des roches riches en olivine dénommées « dunites ».

Le seul gisement d'origine primaire d'une certaine importance est celui du district de Prétoria (Afrique du Sud), où le métal est contenu dans le silicate orthonolite, les principaux dépôts exploités étant généralement d'origine alluviale.

Le platine fut découvert en 1735 dans des minerais aurifères de la Colombie et fut identifié comme métal en 1750; son nom dérive du mot espagnol plata *qui signifie « argent », auquel le platine ressemble par la couleur. Les autres métaux furent séparés et identifiés entre 1803 et 1804, sauf le ruthénium, qui ne fut découvert qu'en 1845.*

D'importants gisements de platine furent découverts dans l'Oural en 1822; ces gisements fournirent jusqu'en 1912 90 % et même plus de la production mondiale. A l'origine, le platine était peu apprécié, à tel point qu'il fut utilisé par des faussaires pour reproduire des pièces de monnaie en or. Ce n'est que par la suite que les emplois du platine connurent une grande extension et que son prix augmenta jusqu'à dépasser celui de l'or.

On exploita alors les gisements de Colombie, et, par la suite, on en découvrit d'autres, très riches, dans le Transvaal (minerai : sperrilite, $PtAs_2$). Les minerais habituellement exploités sont les sables platinifères, dans lesquels le métal se trouve sous forme de pépites, et les roches à olivine; les sables exploitables contiennent de 2 à 5 grammes de platine par tonne. Le métal brut contient environ 80 % de platine, 10 %, ou moins, des autres métaux de la famille du platine, ainsi que de faibles quantités d'or, de fer et de cuivre.

Pendant longtemps, les principaux producteurs furent l'U.R.S.S. et la Colombie; la production canadienne était également importante, provenant essentiellement du raffinage du cuivre et du nickel. Aujourd'hui, la République Sud-Africaine fait aussi partie des principaux producteurs.

Le platine, dont le prix a atteint jusqu'à huit fois celui de l'or (il est actuellement environ le triple), est un métal ductile et malléable, qui peut être travaillé par battage; il est employé en joaillerie, en prothèse dentaire, dans la fabrication de récipients et creusets de laboratoire, pour la confection d'électrodes spéciales; finement subdivisé (mousse de platine), il est utilisé comme catalyseur.

La séparation du platine d'avec les autres métaux de la famille est longue et complexe; ces derniers présentent aussi un intérêt considérable. L'osmium est le plus dense des éléments connus. Le rhodium, que l'on trouve aussi dans les sables aurifères du Mexique et d'Amérique du Sud, est utilisé pour réaliser la protection, par dépôt électrolytique, d'objets en argent, pour fabriquer des couples thermo-électriques destinés à la mesure de températures élevées et, en alliage avec le platine, comme catalyseur pour la production d'acide nitrique à partir de l'ammoniaque.

L'iridium, allié au platine, sert à fabriquer des capsules et des creusets de laboratoire, puisqu'il possède la propriété de conférer une dureté considérable au platine; on l'emploie aussi dans la fabrication d'électrodes.

Le palladium est un catalyseur qu'on utilise dans les réactions d'hydrogénation : finement subdivisé, il peut absorber de grandes quantités d'argent.

Par leurs emplois multiples et par leur rareté, les métaux de la famille du platine sont au moins aussi précieux que le platine lui-même.

L'URANIUM

Cet élément (symbole U), qui possède le comportement caractéristique des métaux, était, voici seulement quelques décennies, presque inconnu de tous ceux qui s'intéressaient directement à la chimie, bien que sa découverte ne soit nullement récente. Cela tient au fait que les principales applications de l'uranium n'ont été découvertes que ces trente dernières années.

Ces applications sont tellement importantes que le mot d'uranium est, aujourd'hui, sur toutes les lèvres, lié aux craintes et aux espoirs de l'humanité. Au fur et à mesure que l'on découvrait les applications pratiques de l'uranium, l'intérêt suscité par ce métal augmentait, à tel point qu'il y a à peine vingt ans, on parlait d'une « fièvre de l'uranium », comme on avait parlé autrefois d'une fièvre de l'or.

Cet élément est beaucoup plus répandu qu'on ne le croit : sa teneur moyenne est d'environ 4×10^{-6} %; il est contenu surtout dans les roches acides (les roches d'origine profonde, riches en silice), où il apparaît dans les minéraux accessoires; il est plus rare dans les roches basiques telles que les basaltes et les gabbros.

Sa teneur dans la lithosphère est donc supérieure à celle du cadmium, du bismuth, du mercure et de l'argent, qui sont généralement considérés comme plus courants. Cependant, en dépit de cette relative abondance, l'extraction de l'uranium présente des difficultés considérables car les gisements riches sont rares; aussi exploite-t-on des gisements ne contenant qu'un pour mille ou moins d'uranium, à condition toutefois qu'ils soient très étendus.

Bavestrelli - Bevilacqua - Prato



Un minerai riche en uranium : l'uraninite (cristaux). Monts d'Uluguru, Tanzanie (Londres, British Museum, 1958.581).

LES MINERAIS DE L'URANIUM

Les principaux minerais exploités sont la pechblende *(U_3O_8), dont les gisements les plus importants se trouvent au Canada, au Congo, dans l'Utah (U.S.A.) et en Bohême; et la carnotite, vanadate d'uranium abondant surtout dans la partie ouest des U.S.A. (Utah et Colorado). Le coût d'extraction de l'uranium à partir du vanadate se trouve fortement réduit car le vanadium est vendu à un prix fort élevé aux industries de l'acier.*

Un autre minerai qui se prêterait à une exploitation intéressante est l'autunite, constituant accessoire de certaines roches; ce phosphate d'uranium est malheureusement trop rare. Enfin, l'uranium est présent dans de nombreux minerais contenant des terres rares, puisqu'il appartient au même groupe dans le système périodique des éléments, possède des propriétés chimiques semblables et a la possibilité d'occuper la même place dans la structure de certains minéraux.

L'URANIUM SOURCE D'ÉNERGIE

L'uranium fut découvert dans la pechblende, où il apparaît sous forme d'oxyde, par Martin Heinrich Klaproth en 1789 et fut identifié aux métaux en 1841 par Eugène Melchior Péligot. Pendant longtemps, il n'eut aucune utilité industrielle, mais joua un rôle considérable dans la découverte d'importants phénomènes naturels, en premier lieu celui de la radio-activité par Antoine Henri Becquerel en 1896 et Marie Curie en 1898, puis celui de la « fission nucléaire » par Otto Hahn, en 1939; l'étude de ces phénomènes devait conduire à l'exploitation d'une nouvelle source d'énergie.

C'est seulement à la suite de cette dernière découverte, suivie d'applications militaires pour la production d'armes redoutables, et d'applications pacifiques pour la production de très grandes quantités d'énergie, que l'on prit la mesure exacte de l'importance de l'uranium; les anciens gisements connus se révélèrent alors tout à fait insuffisants.

Les plus célèbres étaient les gisements de pechblende de Joachimsthal (Jachymov), en Bohême, sur lesquels avaient travaillé les Curie; mais ces gisements étaient situés en territoire allemand et la course aux armes nucléaires battait son plein. Aussi la nécessité se fit sentir d'en trouver d'autres. On exploita alors les gisements de Shinkolobwe (au Katanga, à l'époque colonie belge), très riches et contenant de nombreux minerais d'uranium, se présentant en beaux cristaux de teintes très vives.

L'exploitation fut si intensive qu'en dépit de leur richesse, ces gisements sont aujourd'hui fortement appauvris. En 1945, le Congo exportait 10 000 tonnes de minerai par an, dirigé essentiellement vers les États-Unis et la Grande-Bretagne.

La plupart des grandes puissances établirent des règlements très sévères pour l'exploitation des gisements d'uranium (qui furent tous nationalisés), règlements inspirés d'impératifs militaires et politiques encore plus qu'économiques. Dans le même temps, on favorisait la recherche de nouveaux gisements et la mise au point de méthodes de prospection plus efficaces; parmi celles-ci, rappelons l'emploi du compteur de Geiger et Müller et l'utilisation de la fluorescence des composés d'uranium, qui apparaît lorsque l'on éclaire avec des lampes à argon ou à mercure les minéraux mis en solution acide.

En 1930, d'imposants gisements de pechblende étaient découverts sur les rives du lac de la Grande Ourse, au Canada; ils devinrent propriété de l'État en 1944 en même temps que les autres gisements cana-

diens. Mais la véritable « fièvre de l'uranium » éclata vers 1948 et connut son point culminant avec la découverte de nouveaux et très importants gisements, au nord de Vancouver, dans la Colombie britannique (Canada). D'autres sites exploitables furent découverts en U.R.S.S., en Australie, en Afrique et même en Europe; quelques-uns se trouvent aussi en Italie, dans la région de Coni, mais ils sont d'importance secondaire. En France les gisements se situent dans les massifs anciens de Bretagne et du Centre (Limousin).

Aujourd'hui, en raison de son rôle considérable, l'uranium est extrait aussi à partir de minerais pauvres, tels que les roches phosphatées, où il apparaît comme un sous-produit d'autres minerais; à cet effet, on traite les roches avec de l'acide nitrique et on extrait le nitrate d'uranyle qui se forme à l'aide de l'éther sulfurique (= oxyde d'éthyle).

Parmi les plus récentes découvertes et utilisations scientifiques relatives à l'uranium, rappelons que celui-ci permet de déterminer, avec une bonne approximation, l'âge des roches, donc la période à laquelle s'est produite la solidification d'une partie de la croûte terrestre.

En effet, l'uranium est un élément radio-actif qui se transforme lentement en plomb à travers une série de produits intermédiaires, dont l'un des plus importants est l'hélium. En étudiant des roches n'ayant pas subi de phénomènes secondaires susceptibles de modifier leur composition chimique, et en déterminant dans celles-ci le rapport entre la quantité d'uranium et de plomb ou d'hélium, on obtient des indications sur l'âge des échantillons.

PROPRIÉTÉS CHIMIQUES ET ISOTOPES DE L'URANIUM

L'uranium est un métal qui ressemble à l'acier par son aspect et son éclat mais relativement ductile et malléable; finement divisé, il manifeste une réactivité chimique considérable. Ses propriétés sont semblables à celles des éléments du IIIe groupe du système périodique, mais il peut présenter des nombres d'oxydation différents de ceux-ci, parmi lesquels le nombre + 6, qui est remarquablement stable; dans ce cas, il montre des propriétés assez semblables à celles du chrome, du molybdène et du tungstène.

L'uranium est obtenu à partir de la pechblende par traitement à l'acide nitrique, puis purification du nitrate d'uranyle ainsi obtenu par l'éther sulfurique, calcination en trioxyde, suivie de réduction par l'aluminium ou le calcium métallique à haute température; on peut également l'obtenir à l'état pur par électrolyse d'un de ses fluorures. Sa densité est 19,04 et son point de fusion 1 132 °C.

L'uranium naturel est un mélange de trois isotopes dont les nombres de masse sont respectivement 234, 235 et 238, contenus dans les pourcentages suivants : 0,006 le premier, 0,72 le deuxième et 99,27 le troisième. Tous les trois sont radio-actifs et émettent des particules « alpha »; leur période de désintégration est très longue (l'U^{238} possède la demi-vie la plus longue, suivi par l'U^{235} et l'U^{234}).

De ces trois isotopes, le plus important est l'U^{235}, qui peut subir le processus de « fission » sous l'action de neutrons « thermiques » et peut, par conséquent, servir de combustible nucléaire. Aujourd'hui, des réacteurs spéciaux utilisent aussi comme combustible l'U^{238}, dont l'importance n'est pas due à ce seul emploi; en effet, l'U^{238} se transforme en un isotope du plutonium (Pu^{239}), très employé dans la fabrication d'armes nucléaires.

Puisque l'isotope le plus important de l'uranium n'est présent qu'en très faible pourcentage dans l'uranium naturel, il a fallu, pour obtenir des combustibles nucléaires utilisables, mettre au point des méthodes d'enrichissement permettant de concentrer l'isotope de masse 235. Cette opération est pratiquée sur l'uranium naturel, l'isolement de l'isotope n'étant ni nécessaire ni utile.

Les méthodes utilisées sont toutes extrêmement coûteuses. L'une des plus importantes consiste à transformer l'uranium métal en hexafluorure d'uranium facilement gazéifiable, et à faire diffuser ce gaz à travers des parois poreuses; le fluorure de l'isotope le plus lourd diffuse plus lentement, ce qui provoque l'enrichissement du mélange gazeux dans les autres isotopes. Toutefois, pour chaque passage, l'enrichissement est extrêmement faible. A Oak Ridge (U.S.A.), où ce procédé fut industrialisé, on utilise des milliers de cloisons poreuses et de pompes pour recycler le gaz, obligeant celui-ci à traverser des dizaines de milliers de mètres carrés de surface poreuse. On obtient ainsi un enrichissement en l'isotope voulu, pouvant atteindre 7 %.

A partir de 1941, Lawrence utilisa le « cyclotron » pour obtenir des isotopes de l'uranium pratiquement purs; le rendement de cette méthode était, au début, d'environ 9 mg par an. En raison de l'énorme importance prise par l'uranium, cinq grandes sociétés américaines mirent en commun leurs moyens pour créer un grand laboratoire à Clinton; la quantité d'uranium 235 produite par ce laboratoire de 1943 à 1945 fut de l'ordre de plusieurs kilogrammes. Aujourd'hui, cette méthode, trop coûteuse pour l'exploitation pacifique de l'énergie nucléaire, est abandonnée.

UTILISATION DE L'URANIUM

Avant la découverte de la fission nucléaire, l'uranium n'était qu'un sous-produit de l'extraction du radium. Il était utilisé en photographie, dans l'industrie chimique comme catalyseur de certaines réactions, et surtout, sous forme d'uranate de sodium, pour donner aux verres, aux émaux et aux porcelaines une belle coloration jaune vif résistant bien à la cuisson (jaune d'uranium). D'infimes quantités d'oxyde d'uranium (de l'ordre de 0,06 pour mille) étaient suffisantes pour obtenir une coloration assez intense.

Par la suite, l'uranium devint le produit principal et le radium fut relégué à un rôle tout à fait secondaire. De ses anciens emplois, l'uranium n'a conservé que celui de colorant pour les céramiques, mais toute son importance actuelle vient du fait qu'il est une source d'énergie prodigieuse, malheureusement pas toujours utilisée dans des buts pacifiques.

L'énergie provenant de l'uranium peut être employée de deux manières différentes. La première consiste à réaliser le dégagement instantané de toute l'énergie disponible; c'est ce qui se produit dans les « bombes atomiques » et provoque les terribles effets destructeurs que l'on sait. Les deux bombes atomiques lancées en 1945 sur Hiroshima et Nagasaki ont entraîné la mort de plus de 150 000 personnes, auxquelles il faut ajouter les victimes des radiations dont les effets s'étalent dans le temps.

Le deuxième type d'utilisation est fondé sur la libération « contrôlée » de l'énergie de fission; cela se réalise dans les « réacteurs nucléaires » : la chaleur ainsi dégagée est utilisée pour produire de la vapeur servant à fournir l'énergie électrique. Pour avoir une idée des énormes quantités d'énergie engendrées, il suffit de penser que moins de 500 grammes d'uranium entièrement fissionné libèrent environ 10 000 kilowatts-heures. C'est ce même type de production qui est utilisé pour la propulsion des navires, notamment celle des sous-marins atomiques. Récemment, le sous-marin américain « Triton », doté de deux moteurs à combustion nucléaire, a accompli le tour de la Terre en immersion.

La production d'énergie à partir de combustibles nucléaires, nécessitant des investissements très onéreux, a subi, jusqu'à ces deux dernières années, une très forte concurrence de la part des combustibles pétroliers. La tendance actuelle, par suite des augmentations successives subies par les hydrocarbures, lui est d'autant plus favorable que des progrès très récents ont permis de mieux rentabiliser le coût des réacteurs.

L'uranium s'impose désormais dans des applications de toute première importance : des villes entières peuvent aujourd'hui être éclairées et chauffées par l'énergie nucléaire, comme nous le montre l'exemple de Farsta, ville de 70 000 habitants de la banlieue de Stockholm. En outre, de nombreux problèmes scientifiques ont pu être résolus grâce à la radio-activité de cet élément.

A côté des perspectives qui s'offrent à l'utilisation pacifique de l'énergie nucléaire, subsiste malheureusement le risque tragique d'une guerre nucléaire, qui aurait pour conséquence l'anéantissement de l'humanité. Contre ce danger ne cessent de s'élever les mises en garde des savants du monde entier.

LE RADIUM

Le radium (dont le nom dérive d'un mot latin signifiant rayon) est un élément chimique appartenant au deuxième groupe de la classification périodique des éléments. Il est radio-actif et c'est précisément en raison de cette propriété que le radium a acquis une si grande importance, surtout au début de ce siècle, au moment où l'étude du phénomène de la radio-activité franchissait une étape décisive.

Le radium, produit de la désintégration de l'uranium, est très rare dans la nature. De ce fait, mais aussi parce qu'il est très difficile de l'obtenir pur, il a perdu aujourd'hui une grande partie de son importance pratique; il est désormais remplacé dans la plupart de ses applications par des éléments radio-actifs dits « artificiels ».

Cependant, l'histoire du radium est sans aucun doute d'un grand intérêt, car la découverte de cet élément est l'un des jalons les plus importants dans le progrès scientifique moderne.

La radio-activité fut découverte en 1896 par Becquerel alors qu'il étudiait certains composés de l'uranium. Ensuite, on s'aperçut que la pechblende (minerai uranifère) de Joachimsthal en Bohême, bien que ne contenant que 50 % d'uranium, émettait des radiations environ cinq fois plus « fortes », ou mieux plus intenses, que celles émises par l'uranium pur. On en conclut logiquement que ce minerai contenait un ou plusieurs éléments inconnus, plus « radio-actifs » que l'uranium.

LA DÉCOUVERTE DU RADIUM

En 1898, Pierre et Marie Curie démontrèrent que cette radio-activité élevée était due à un autre élément, qu'ils appelèrent précisément « radium » et qu'ils isolèrent sous forme de bromure. Sachant qu'une tonne de pechblende contient à peine un quart de gramme de radium, on peut mesurer toute la difficulté de la tâche des Curie. Il leur fallut justement mille kilogrammes de minerai pour obtenir le premier dixième de gramme de radium pur, sur lequel ils purent étudier les propriétés de cet élément.

Pour l'époque, le résultat atteint par les Curie était incontestablement exceptionnel, d'autant plus que la seule méthode d'analyse suffisamment sensible dont ils disposaient était la mesure de l'« activité » des préparations, et que la méthode de purification du radium qu'ils ont mise au point est, avec de légères retouches, suivie encore aujourd'hui.

Le radium, qui, comme nous l'avons dit, est l'un des produits de la désintégration de l'uranium, se trouve associé à celui-ci, dans ses minerais, dans un rapport presque constant qui s'explique par le fait qu'il s'établit un équilibre radio-actif; en effet, la demi-vie du radium étant très brève en regard de celle de l'uranium (qui est de 4,5 milliards d'années), la quantité totale de radium présente à tout moment dans l'écorce terrestre est déterminée par comparaison entre le radium qui se forme à chaque instant à partir de l'uranium et le radium qui disparaît du fait qu'il se désintègre spontanément.

Les plus riches minerais d'uranium contiennent environ une part de radium pour 3 400 000 parts d'uranium, c'est-à-dire environ un gramme de radium pour quatre tonnes de minerai. On exploite cependant des minerais dont la teneur en radium n'est que d'un gramme pour trois cents tonnes, d'autant plus qu'aujourd'hui, cet élément est considéré comme un sous-produit de l'uranium.

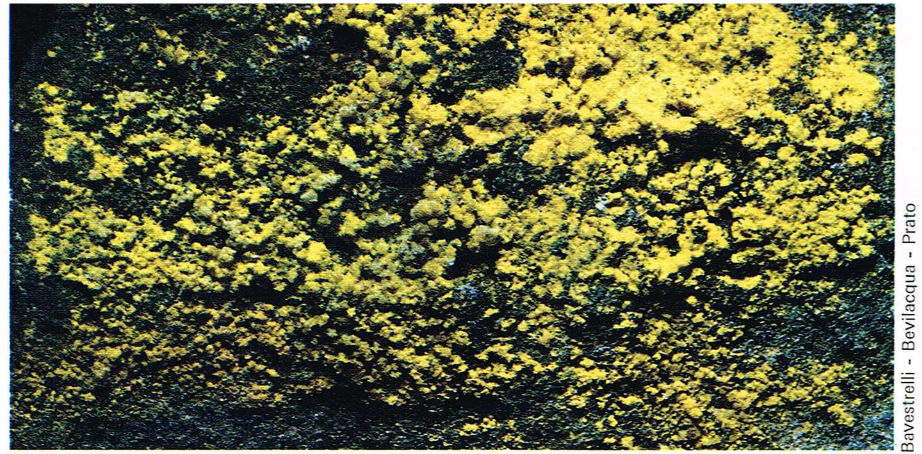
Le minerai broyé est traité avec un mélange d'acide nitrique et d'acide sulfurique; à la solution ainsi obtenue, on ajoute du baryum, très semblable chimiquement au radium et qui pour ainsi dire l'« entraîne » avec lui dans les différentes transformations chimiques. Cela est indispensable, sinon les précipités contenant du radium seraient si peu abondants qu'il serait impossible de les recueillir.



Bavestrelli - Bevilacqua - Prato

Pechblende contenant de la curite (France), qui est l'un des minerais uranifères les plus riches en radium (musée civil d'Histoire naturelle, Milan).

Le traitement par les acides entraîne, en solution, l'uranium du minerai, tandis que le radium, le baryum et la silice demeurent dans le précipité, les deux premiers sous forme de sulfates. On filtre alors le précipité et on le fait bouillir avec de la soude caustique pour éliminer partiellement la silice et les sels de plomb, toujours présents en même temps que l'uranium. Les sulfates de baryum et de radium ainsi que la silice restante sont traités à l'autoclave avec du carbonate de sodium;


Bavestrelli - Bevilacqua - Prato

Un minerai radio-actif, l'uranopilite.

le baryum et le radium passent alors sous forme de carbonates et peuvent être dissous dans l'acide chlorhydrique, tandis que la silice insoluble est éliminée par filtration.

Souvent, pour obtenir une purification plus poussée des éléments, on les précipite de nouveau en sulfates et on refait un traitement en autoclave. Au mélange de chlorures de baryum et radium obtenu après ces passages, on ajoute de l'acide bromhydrique, ce qui provoque la formation des bromures des deux éléments. On les fait cristalliser, de manière fractionnée, en jouant sur le fait que la solubilité du bromure de radium est inférieure à celle du bromure de baryum.

Le mélange de bromures ne contient alors que quelques parties par million de radium ; après dix cristallisations, on parvient à quelques parties par mille de radium. Il est donc évident qu'il faut un nombre énorme de cristallisations pour obtenir des sels de radium d'une pureté de 95 à 99 %, qui sont les sels utilisés. A tout cela, il convient d'ajouter que la manipulation de matériaux radio-actifs exige des précautions particulières ; cela explique pourquoi le radium est si onéreux : en 1954 en effet, cet élément valait aux U.S.A. de 16 à 21,5 dollars le milligramme.

Certains autres minerais exigent un traitement différent de celui que nous venons de décrire ; la principale nouveauté est que l'on effectue la cristallisation fractionnée des chromates des deux éléments plutôt que celle des bromures, cristallisation qui peut être remplacée partiellement par l'emploi de résines échangeuses de cations.

Le radium pur est un métal blanc, brillant, obtenu par électrolyse du chlorure fondu ; sa densité est voisine de 5 ; il fond à 960 °C. Il réagit violemment avec l'eau, comme les métaux alcalino-terreux. Ses composés confèrent une coloration rouge vif à la flamme. Ils sont en outre phosphorescents et, en petites quantités, rendent phosphorescentes d'autres substances. Le symbole chimique du radium est Ra.

L' « activité » du radium est très intense ; le bromure pur est environ un million de fois plus actif que l'uranium ; mais, malgré cela, l'élément ne perd que 1 % environ de son activité tous les 25 ans. Les isotopes du radium aujourd'hui connus sont nombreux, le principal est le Ra^{226}*, qui est précisément l'isotope possédant la demi-vie la plus longue (1 590 ans environ). Par émission de particules* alpha*, il se transforme en* radon *(gaz noble) dont la demi-vie est très courte (4 jours environ).*

Dans les premiers temps des recherches sur les éléments radio-actifs, on donnait le nom de « radium » à divers produits de la désintégration du radium et on les distinguait par les lettres de l'alphabet (par exemple : « radium C », « radium F », etc.). Il s'agit en réalité d'éléments chimiques tout à fait différents, n'ayant avec le radium qu'une origine commune.

La quantité totale de radium isolée dans le monde entier, à la fin de 1939, dépassait sensiblement 300 grammes ; actuellement, on l'estime à plus d'un kilogramme. Avant la guerre, les principaux détenteurs de radium en Europe étaient la ville de Vienne et l'Académie des sciences de Paris. La production moyenne annuelle pour la période qui a suivi la dernière guerre mondiale peut être estimée à environ 30 grammes : cette production est destinée essentiellement à des emplois médicaux. Le principal producteur actuel est le Canada qui exploite les minerais du lac de la Grande Ourse. En outre, une certaine quantité de radium (évaluée aux U.S.A. à 200 grammes) fait l'objet de « prêts » contre paiement.

Toutefois, la production de radium ne tend pas à augmenter car, par rapport au début du siècle, la situation envers les éléments radio-actifs a profondément changé : en effet, en 1934 ont été découverts les premiers éléments radio-actifs artificiels, et plus tard la fission nucléaire. Cela a conduit à la synthèse d'éléments artificiels obtenus à moindre prix, pouvant remplacer le radium pratiquement dans tous ses emplois.

L'efficacité de ces nouveaux éléments (ou mieux, des isotopes radio-actifs) n'est pas inférieure à celle du radium : le type de particules émises est le même et seule varie l'énergie d'émission.

Si l'uranium n'était à l'origine qu'un sous-produit du radium et ne trouvait que peu d'applications pratiques, la situation est aujourd'hui inversée ; l'uranium est devenu le produit principal, tandis que le radium est peu à peu délaissé.

EMPLOIS DU RADIUM

C'est presque par hasard que fut découverte la principale utilisation pratique du radium : son utilisation en thérapeutique.

En manipulant des matériaux radio-actifs, Becquerel subit des « brûlures », provoquées par l'absorption d'une dose trop forte de radiations. Le terme de « brûlures » est tout à fait inexact, mais il était utilisé autrefois pour indiquer globalement les effets nuisibles des radiations sur l'organisme humain.

Les premières expériences de radiothérapie avaient déjà été faites avec les rayons X, découverts par Röntgen en 1895. L'accident survenu à Becquerel, et d'autres considérations, conduisirent les chercheurs à étudier de nouvelles sources de radiations et en particulier le radium. L'emploi de ce dernier, limité initialement au traitement de certaines maladies de la peau, fut étendu ensuite au traitement des tumeurs, soit par applications externes, soit par introduction d'aiguilles de métal dans la partie malade.

Mais il fallut faire de nombreuses tentatives pour parvenir à des résultats satisfaisants et s'attacher le concours de nombreux chercheurs pour perfectionner les techniques d'utilisation, surtout en ce qui concerne le dosage des radiations et la manière de les « filtrer », c'est-à-dire d'éliminer les radiations les plus dangereuses. En effet, l'exposition excessive à une source de radiations peut se révéler très dangereuse et entraîner des accidents pouvant parfois être mortels. Aussi, de sérieuses précautions s'imposent pour l'emploi des sources radio-actives et notamment du radium, qui peut être fixé de façon durable par les os.

Le radium connaît aujourd'hui d'autres emplois en tant que source de radiations, et à cet effet, on le trouve dans le commerce sous ampoules scellées. On utilise aussi son produit de désintégration, le radon*, que l'on comprime dans de petites capsules.*

Le radium est utilisé en particulier dans les radiographies industrielles, presque toujours sous forme de sulfate, pratiquement insoluble. On le place généralement dans de petits cylindres en argent, étanches aux gaz (pour éviter leur diffusion), ou dans de petites sphères, enfermées à leur tour dans des récipients en aluminium ou en acier. La quantité d'élément présente dans chaque récipient varie de 25 milligrammes à 1 gramme. A cause de leur coût élevé, les récipients ne sont généralement pas vendus mais loués.

En mélangeant de très petites quantités de radium au sulfure de zinc, on obtient une peinture phosphorescente pour les aiguilles de montres ou pour les inscriptions que l'on veut rendre lisibles dans le noir. Le mélange radium-béryllium est une source modérément intense de neutrons, qui trouve des emplois en laboratoire et même dans la recherche de gisements d'huiles minérales.

Tous les autres emplois du radium et même une partie de ceux que nous venons d'énumérer sont réalisés aujourd'hui à l'aide d'autres éléments radio-actifs. Mais il ne faut pas oublier le rôle que le radium a joué dans l'évolution des connaissances en matière de radio-activité et de physique nucléaire ; ce rôle apparaît d'autant plus précieux et irremplaçable que la quantité de métal disponible est aujourd'hui encore très réduite.

MINÉRAUX ET ROCHES DÉCORATIFS

Les minéraux et roches utilisés dans un but décoratif, tant dans le domaine des gemmes et des pierres dures, de la gravure sur pierres fines, en architecture, ou plus simplement encore pour la fabrication de petits objets d'art, sont très nombreux : aussi nous ne pourrons en évoquer ici que quelques-uns, choisis parmi les plus remarquables. Tout d'abord, laissons volontairement de côté les pierres précieuses proprement dites, dont la valeur est si élevée qu'elles ont un rôle dépassant celui de simples objets « décoratifs ».

De même, nous nous contenterons de rappeler rapidement les nombreuses variétés de roches, telles que les marbres, certains calcaires colorés, les granites, les quartzites, l'albâtre, le travertin, etc., choisis pour rehausser la beauté des bâtiments.

C'est le cas de quelques marbres, contenant de petites quantités de pyrite qui en soulignent le raffinement et qui en font des pierres ornementales. Certains calcaires, comme ceux que l'on trouve à Raibl (Italie), contiennent de la blende rouge, qui leur confère un aspect tout à la fois étrange et agréable. Les granites et les quartzites doivent souvent leurs qualités décoratives aux oxydes métalliques ou aux petits cristaux de minerais métallifères qu'ils contiennent en tant qu'impuretés, par exemple le quartz et le porphyre quartzifère des carrières de Cuasso al Monte en Lombardie qui renferment des lamelles brillantes de molybdénite.

Rappelons enfin que l'on considère généralement comme objets décoratifs certaines cristallisations de minéraux plutôt communs, mais présentant de jolies formes ; tels, les cristaux de quartz, relativement fréquents dans les Alpes, remarquables par leur forme et leur transparence. Leur beauté peut d'ailleurs être rehaussée par des inclusions d'aiguilles cristallines de rutile.

Un autre minerai dont les cristaux ou concrétions sont très répandus est le carbonate de calcium, surtout dans l'une de ses variétés, l'aragonite. Il en est de même pour le soufre et le gypse.

Ajoutons à cette liste les oxydes de fer, parmi lesquels la magnétite, qui possède la propriété d'être un aimant naturel, et l'hématite, de couleur caractéristique formant de très beaux cristaux, dont certains agrégats, appelés « roses de fer », sont très appréciés des collectionneurs. Ce minerai, lorsqu'il est compact, sert aussi à la fabrication d'objets d'ornement, tels que bibelots, boutons de manchette, etc.

Un autre minerai de fer très connu et fort répandu est la pyrite. Elle se présente en cristaux bien différenciés, affectant les formes les plus diverses, notamment celle du cube.

LES PIERRES DURES

Il s'agit de minéraux, parfois métallifères, à mi-chemin entre les simples pierres décoratives et les pierres précieuses ou semi-précieuses. En font partie différentes variétés de silice (l'agate, l'onyx, le jaspe, l'opale), qui sont utilisées non seulement comme gemmes (par exemple, dans les camées), mais aussi dans l'art de la mosaïque. Depuis la Renaissance, cet art connaît une grande faveur en Italie, notamment à Florence. Les tableaux, les panneaux décoratifs, les pièces de mobilier faites de mosaïque sont très appréciés ; ils tirent leur valeur autant de la beauté et du prix des pierres que de l'habileté de l'artiste.

D'autres éléments, fort nombreux, qu'on ne peut classer dans aucune des catégories précédemment citées, se prêtent parfaitement à la fabrication d'objets d'ornement : tels, la malachite, le lapis-lazuli, la turquoise, le jade, la chrysocolle.



Coupe sculptée façonnée dans une turquoise de Perse de dimensions exceptionnelles, enchâssée dans une monture en or sertie de gemmes. Art byzantin des Xe et XIe siècles (Venise, Trésor de Saint Marc).

La malachite, qui a connu de larges applications en Russie dans l'art ornemental, est un carbonate basique de cuivre. Se présentant rarement en cristaux, elle se trouve en revanche couramment sous forme d'incrustations, de concrétions compactes à structure concentrique, de stalactites, de masses arrondies, mamelonnées ou réniformes ; elle est souvent associée à l'azurite et à la cuprite.

Caractérisée par sa couleur verte, elle provient de l'oxydation superficielle des gisements de cuivre, en particulier par suite des diverses réactions qui s'opèrent quand les sulfures de ce métal entrent en contact avec des eaux contenant du bicarbonate de calcium. On la trouve dans des gisements assez riches en Sibérie (ils ont été exploités surtout au cours de la seconde moitié du siècle dernier) ; on connaît aussi d'autres gisements en France (Chessy), dans l'Arizona, au Katanga, en Rhodésie, au Chili et en Australie.

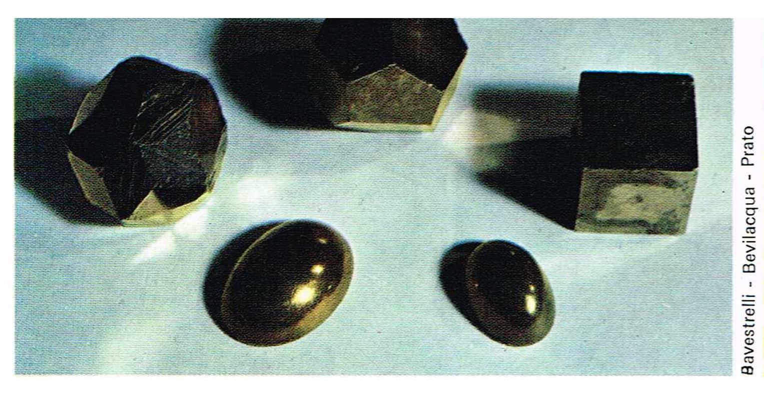
On a conservé le souvenir de ces blocs exceptionnels de malachite provenant des mines de l'Oural, dont certains, pesant plus de 50 tonnes, servirent à fabriquer les colonnes de la cathédrale Saint-Isaak, à Léningrad.

On peut admirer de nombreux objets en malachite au musée des Offices et au musée du Vatican à Rome. La malachite est encore travaillée de nos jours. En raison de sa fragilité, les pertes lors de la taille sont assez importantes et peuvent représenter 30 % de la quantité initiale du matériau : ceci contribue à augmenter le prix des objets réalisés (bibelots, cendriers, etc.).

La chrysocolle, souvent associée à la malachite, puisqu'elle provient elle aussi de l'altération de minerais de cuivre par l'action des eaux contenant de la silice, est de couleur bleue et possède un éclat satiné. C'est un silicate hydraté de cuivre, constituant un minerai d'importance modeste de ce métal dans les gisements du Chili, de l'Oural et du Zaïre. On l'utilise parfois comme pierre ornementale, mais elle est moins appréciée.

DU JADE AUX TURQUOISES

Le terme de jade, pierre fine assez réputée, sert à désigner divers minéraux assez semblables par leur composition (ce sont tous des silicates) et par leur aspect.



Bavestrelli - Bevilacqua - Prato



Bavestrelli - Bevilacqua - Prato

Ci-dessus : cristaux de pyrite (île d'Elbe) et cabochon de pyrite (collection Schubnel). A droite : camée et cabochon en malachite de Sibérie, et cabochon en azurite de l'Arizona (collection Joz-Roland, Paris).

Connu dès l'époque préhistorique, le jade servait alors surtout, en raison de sa dureté, à la fabrication d'outils de travail. Les minéraux ainsi désignés sont la néphrite, silicate de calcium et de magnésium (du groupe des amphiboles), et la jadéite, silicate de sodium et d'aluminium (du groupe des pyroxènes) : leur dureté varie de 6,5 à 7 (elle est donc supérieure à celle du verre).

A l'état pur, les deux minéraux sont blancs, translucides; lorsqu'ils contiennent des impuretés (le plus souvent des traces de fer et de chrome), ils acquièrent une coloration verte, brune, violette, bleue, jaune, rougeâtre, grise et même noire.

Les principaux gisements de néphrite se rencontrent en Asie centrale; pendant des siècles, ils furent la principale source d'approvisionnement des artisans chinois. La Sibérie possède aussi des gisements d'un intérêt considérable.

En revanche, la jadéite utilisée par les Chinois provenait de Birmanie; il existe aussi des gisements au Japon et en Amérique (Guatemala, Californie, Wyoming, Alaska, Colombie britannique). Les jades (c'est-à-dire les objets taillés dans le jade) les plus célèbres proviennent de Chine, où le travail y est très répandu; aujourd'hui, le jade est façonné aussi dans d'autres pays. Le travail de la pierre s'effectue à l'aide de sables abrasifs quartzeux ou de corindon (actuellement, de carborundum, qui est un abrasif de synthèse); par ce traitement long et laborieux, on obtient des objets de grande valeur, d'un poli extraordinaire.

La variscite, phosphate hydraté d'aluminium, de couleur vert pâle, se trouve en nodules ou en incrustations. Elle ressemble au jade, et, comme celui-ci, est façonnée en Orient (surtout en Chine) pour fabriquer des statuettes et des amulettes.

Un autre phosphate basique d'aluminium, assez agréable d'aspect par sa couleur bleu azur et son éclat vitreux, est la lazulite, que l'on trouve souvent en masses de dimensions modestes. Répandue dans différentes régions du monde, elle est utilisée comme gemme; il ne faut pas la confondre avec la lazurite, plus connue sous le nom de lapis-lazuli.

La rhodochrosite, minerai de manganèse, est également utilisée pour la fabrication d'objets d'ornement, tels que des cendriers. Elle se présente en masses parfois considérables, d'aspect uni ou, assez souvent, veiné. Comme son nom l'indique, elle est d'un beau rose tirant sur le rouge, avec d'agréables reflets.

Cristal de lazurite dans sa gangue. Afghanistan (collection de minéralogie de la faculté des sciences de Paris).

Bavestrelli - Bevilacqua - Prato

Nous avons déjà cité le lapis-lazuli : c'est un minéral connu depuis la plus haute Antiquité, utilisé dans les mosaïques et dans la fabrication d'objets d'ornement. La fameuse et splendide mosaïque en lapis-lazuli, connue sous le nom d'étendard d'Ur, découverte dans les fouilles effectuées en Mésopotamie, remonte à plus de 4 000 ans.

Le lapis-lazuli est un aluminosilicate complexe de sodium, d'une belle couleur allant du bleu azur au bleu foncé, que l'on trouve en cristaux ou en masses compactes. Le lapis-lazuli naturel est en fait un mélange de lazurite, d'haüynite et de sodalite; il contient, de plus, différents minéraux, tels que des cristaux de pyrite, qui en rehaussent la beauté.

Pendant des siècles, il a constitué la matière première d'où était extrait le bleu outremer, dont tirèrent parti les peintres les plus célèbres des siècles passés; ce pigment, autrefois très cher, est aujourd'hui produit artificiellement.

Durant des milliers d'années, l'Afghanistan a fourni des échantillons de lapis-lazuli se prêtant parfaitement à la fabrication de gemmes (il est probable que les Anciens les ont confondus avec les saphirs moins transparents). On connaît également des lapis-lazulis en Sibérie, au Chili, en Californie, à Madagascar et au Brésil. En dehors des mosaïques, le lapis-lazuli sert à fabriquer des épingles, des bagues et des bracelets.

La turquoise est un autre minéral connu depuis des temps très anciens. Elle constituait l'un des principaux ornements de joaillerie de l'ancienne Égypte, comme le prouvent les nombreux objets en turquoise trouvés dans les fouilles. Les Égyptiens l'extrayaient du Sinaï, mais c'est de Turquie qu'elle fut pour la première fois importée en Europe, comme l'indique son nom qui signifie « originaire de Turquie ». La turquoise est un phosphate hydraté d'aluminium et de cuivre; c'est ce dernier qui lui donne sa couleur. Le minerai forme de petites veines et des nodules dans des roches éruptives trachytiques fortement altérées.

La turquoise possède une coloration vert clair (parfois bleue) très agréable. Elle est sensible à l'eau et exige donc beaucoup de précautions, surtout lorsqu'elle est montée en bagues. Elle est surtout employée en joaillerie et connaît une grande faveur, notamment en Orient. Les mines persanes de Nishapur, très riches, ont été exploitées durant de nombreux siècles. Elle fait toujours l'objet de transactions actives en Égypte. De nombreuses mines de turquoise existent aussi en Amérique, notamment au Mexique, au Nouveau-Mexique, en Arizona, en Californie et au Nevada. Chez les Aztèques, la turquoise n'était pas utilisée en bijouterie, mais pour les objets d'usage courant, en raison de sa dureté.

Il existe aussi une « turquoise d'os » qui ressemble par son aspect extérieur à la turquoise minérale; en réalité, il s'agit d'os et de dents fossiles colorés en bleu par le phosphate de fer.

Les obsidiennes, autre matériau très employé par les Indiens d'Amérique, servaient à fabriquer les objets utiles, y compris les armes : ce sont des verres d'origine volcanique, que l'on trouve parfois en lame très dure et très coupante.

Un autre matériau très curieux, également de nature vitreuse, utilisé parfois pour la fabrication d'objets décoratifs, est celui que constituent les tectites, cailloux dont l'origine est vraisemblablement météorique; ils sont disséminés sur une étroite bande de la surface terrestre; en Europe, on en trouve uniquement en Tchécoslovaquie.

Parmi les nombreuses autres variétés de minéraux susceptibles de servir de pierres décoratives, rappelons la calamine, bleue et compacte, l'olivénite et l'albâtre.

GRAPHITE ET DIAMANT

Le graphite et le diamant ont un aspect et des propriétés si différentes qu'on pourrait les croire tout à fait dissemblables. En réalité, ils représentent les deux aspects du carbone pur, à l'état natif. L'un et l'autre, mis à part les impuretés qu'ils renferment, ont pour seul constituant le carbone : leurs propriétés, et les divers emplois qui en découlent, sont déterminés uniquement par l'arrangement des atomes de carbone dans le réseau cristallin des deux minéraux.

Dans le graphite, les atomes de carbone sont disposés aux sommets d'hexagones réguliers, jointifs entre eux, formant une succession de plans parallèles empilés les uns sur les autres. La distance qui sépare les plans consécutifs est supérieure à celle qui relie entre eux les atomes formant les hexagones; en outre, les liaisons atomiques entre ces différents plans sont plus fragiles. Il en résulte que le graphite se clive facilement, surtout lorsqu'il se présente en larges cristaux aplatis, connus dans les pays anglo-saxons sous le nom de « flocons de graphite ».

En revanche, dans le diamant, les atomes de carbone sont situés au centre et aux sommets de tétraèdres réguliers, chaque sommet constituant le centre du tétraèdre voisin. Ainsi, tous les atomes de carbone sont parfaitement équidistants et unis par des liaisons fortes et identiques. Cette disposition confère au diamant des propriétés particulières, notamment, sa dureté extrême : c'est le minéral le plus dur qui existe. A la différence du graphite, ses plans de clivage forment un octaèdre. Les propriétés chimiques et physiques de ces deux corps sont totalement différentes.

C. Bevilacqua



Cristaux bruts de diamants (collection De Beers). Échantillon de graphite (musée d'Histoire naturelle de Milan).

LE GRAPHITE

Le graphite est un solide gris foncé ou noir, gras au toucher, très tendre; il est bon conducteur de la chaleur et de l'électricité. Traité par l'acide nitrique concentré et par le chlorate de potassium, il se transforme en oxydes graphitiques, jaunes, qui conservent une structure hexagonale. On peut le trouver en gros cristaux, lamellaires et aplatis, mais, le plus souvent, il se présente en masses compactes, d'aspect terreux.

On pense que le graphite s'est formé sous l'influence de phénomènes ayant intéressé des roches qui possédaient une concentration élevée en carbonates; on le trouve parfois disséminé dans les roches, mais les gisements les plus faciles à exploiter sont les gisements proches des zones de contact entre les veines ou les dykes d'origine magmatique et les roches carbonatées préexistantes.

Les gisements les plus riches sont ceux de Madagascar (qui fournissent du graphite en « flocons ») et ceux de l'île de Ceylan (graphite amorphe). Beaucoup d'autres gisements de moindre importance existent en différents pays; les États-Unis en possèdent quelques-uns, faiblement exploités. En Italie, certaines vallées alpines fournissent des quantités appréciables de minerai, de pureté médiocre.

Environ 70 % de la production annuelle de graphite naturel sont constitués par du minerai de peu de valeur, utilisé comme pigment noir, ou comme élément de fonderie. Le graphite de meilleure qualité, comme celui de Madagascar, est utilisé dans certains alliages métalliques, et le graphite de Ceylan, pour fabriquer les balais des moteurs électriques.

En raison de son onctuosité, le graphite trouve de très larges applications comme lubrifiant, en suspension dans des huiles minérales ou dans des corps appelés « autolubrifiants ». Enfin, une bonne partie du graphite extrait annuellement ou produit artificiellement sert de matériau réfractaire, car il a la propriété de résister à des températures très élevées. Pour ce même motif, et parce qu'il est conducteur de l'électricité, on l'utilise comme électrodes dans les lampes à arc et dans les fours électriques, tant dans la métallurgie des aciers que dans celle de l'aluminium. Ces industries sont de grandes consommatrices de graphite.

Le graphite naturel n'est pas assez abondant pour tous ces usages; de plus, il ne convient pas parfaitement pour certains d'entre eux; aussi lui préfère-t-on un type de graphite produit artificiellement en chauffant le coke dans des fours électriques spéciaux, en dehors du contact de l'air, pour en empêcher la combustion. Ce procédé, connu sous le nom de procédé Achesom, permet en outre de donner au matériau les formes les mieux adaptées aux différents besoins.

Un autre type de matériau à base de graphite était très répandu aux États-Unis; on l'obtenait en déposant du noir de fumée sur des supports spéciaux, ce qui permettait d'obtenir un enduit de graphite non poreux qui était utilisé surtout dans l'industrie chimique. Mais c'est dans la fabrication de mines de crayon que le graphite trouve son meilleur usage. Autrefois en graphite naturel, les mines de crayon sont obtenues, aujourd'hui, artificiellement.

Enfin, le graphite a trouvé un emploi très important dans la technologie nucléaire comme « modérateur » de neutrons. Dans cette application, le graphite doit être très pur; souvent, d'ailleurs, il est remplacé par d'autres



C. Bevilacqua



C. Bevilacqua



Diamant industriel monté sur un support (vue latérale et vue plongeante).

matériaux. Rappelons toutefois que la pile atomique de Fermi était formée de couches superposées d'uranium et de graphite.

LE DIAMANT

Le graphite est la phase stable du carbone élémentaire à la température ordinaire, tandis que le diamant en est la phase instable. Ce dernier est rare dans la nature car les conditions qui favorisent sa formation (température et pression très élevées) sont exceptionnellement réalisées. Mais en réalité, la vitesse avec laquelle le diamant se transforme en graphite est tellement faible qu'on peut la considérer comme nulle ; elle ne devient appréciable qu'au-dessus de 1 000 °C. Le diamant se présente en cristaux cubiques, dodécaédriques, et surtout octaédriques, les faces étant légèrement incurvées.

Lorsqu'il est pur, le diamant est limpide et possède un indice de réfraction élevé. C'est un mauvais conducteur de la chaleur et de l'électricité ; il se dilate très peu sous l'effet de la chaleur, et ne perd pas sa dureté (propriétés très appréciées dans l'industrie). Soumis à un flux intense de radiations, le diamant devient vert ; on peut le rendre à nouveau incolore en le chauffant.

A l'air, le diamant brûle sans laisser de résidu et se transforme en dioxyde de carbone ; fortement chauffé en dehors du contact de l'air, il passe, comme nous l'avons déjà dit, à l'état de graphite. Il n'est pas attaqué même par les oxydants les plus énergiques. On trouve souvent dans la nature des diamants contenant des impuretés, responsables de diverses colorations allant du jaune au noir.

Par sa rareté et par ses magnifiques reflets (« feux »), le diamant est l'une des pierres précieuses les plus appréciées, et cela depuis les temps les plus anciens. Les gisements les plus célèbres furent ceux de l'Inde et de Bornéo, exploités depuis longtemps. Ils sont aujourd'hui presque épuisés, après avoir fourni des pierres d'une très grande beauté et de dimensions appréciables. En 1720, d'autres gisements importants furent découverts au Brésil, et ce pays domina le marché mondial des diamants jusqu'en 1870.

En 1867, un enfant du nom d'Erasmus Jacob trouva un étrange « caillou » près du fleuve Orange en Afrique du Sud. Il joua avec l'objet pendant plus d'un an, jusqu'au jour où un colon, intrigué, le fit analyser et évaluer : il s'agissait d'un diamant de plus de 21 carats, qui fut vendu à l'époque au prix de 500 livres sterling (le carat équivaut à 0,2 gramme).

Ainsi, ce fut presque par hasard que débuta la période la plus faste pour la recherche des diamants. Bientôt d'autres découvertes eurent lieu, avant même que ne commencent les premières prospections sérieuses. Celles-ci aboutirent à la découverte de mines diamantifères, qu'on appela « pipe mines » à cause de leur forme caractéristique de cheminées, due à l'origine volcanique de la roche diamantifère. En peu de temps, l'Afrique du Sud devint le premier producteur mondial de diamants ; très purs, les diamants sud-africains ont une grande valeur. C'est en Afrique du Sud, près de Lichtenburg, que se trouve la mine la plus riche jamais découverte : son exploitation commença en 1920, et, de 1926 à 1928, elle fournit pour trois millions de carats. Par la suite, la production baissa rapidement.

Outre les « pipes », l'Afrique du Sud possède d'importants gisements diamantifères le long des plages qui bordaient autrefois l'Atlantique et qui font partie aujourd'hui de l'arrière-pays ; une partie des pierres qui en proviennent sont particulièrement adaptées aux travaux de joaillerie, puisque la perte à la taille n'est que de 5 %. Dans ces alluvions les diamants, qui résistent très bien à l'altération, proviennent du démantèlement de « pipes » diamantifères sous l'action de l'érosion.

Beaucoup d'autres pays d'Afrique sont devenus aujourd'hui des producteurs de diamants ; en 1907, des régions diamantifères furent découvertes au Congo belge (dans le Kasaï) et furent exploitées à partir de 1912 ; en 1917, l'Angola commença à extraire des diamants. Enfin, en 1919, fut découverte la principale mine du Congo, près du fleuve Bushimaie, dont 96 % de la production est constituée par des diamants à usage industriel. Au début de la Seconde Guerre mondiale, cette mine avait fourni, à elle seule, plus de dix millions de carats.

En 1940 fut découverte la plus vaste « pipe » d'Afrique, d'une surface plus étendue que celle de toutes les mines sud-africaines ; elle se trouve à Mwaoui, en Tanzanie, et sa découverte est due à un géologue canadien, qui en demeura propriétaire pendant très longtemps.

A partir de 1930, d'autres gisements diamantifères furent découverts en Sierra Leone, en Côte-de-l'Or (aujourd'hui le Ghana) et en Afrique équatoriale et occidentale française ; mais les diamants qui en proviennent ont une faible valeur. Il existe, enfin, d'autres régions diamantifères, exploitées encore aujourd'hui ; en Australie, au Venezuela, en Guyane britannique et en U.R.S.S. (Oural) ; elles sont beaucoup moins étendues que celles que nous venons de citer.

Le terrain diamantifère le plus connu, celui de l'Afrique du Sud, est appelé dans le langage minier « Blue Ground » à cause de sa couleur bleue : c'est une brèche volcanique formée de « kimberlite » (roche ultra-basique riche en olivine). Elle se désagrège à l'air. Les pierres sont obtenues de manière assez simple : le minerai est convenablement concassé, et un courant d'eau en entraîne la fraction la plus légère. Le résidu, qui représente environ 1 % du total, toujours entraîné par l'eau, passe sur des surfaces planes enduites de graisse (en général, de la vaseline). Les diamants sont retenus par cette graisse, que l'on fait ensuite fondre ; certaines gemmes n'ont pas d'affinité pour la graisse et doivent être soumises préalablement à un traitement spécial.

La valeur commerciale des diamants ne dépend pas seulement du poids, mais, surtout, de la pureté et de l' « eau » (c'est-à-dire la transparence). Aussi, un grand nombre sont inutilisables en joaillerie. Un autre élément déterminant de la valeur d'une pierre est la taille. La pierre brute est préalablement dégrossie, puis taillée à facettes ; celles-ci sont ensuite polies à l'aide de poudre de diamant, seul abrasif utilisable.

Grâce à sa dureté, le diamant trouve bien des applications en dehors de la joaillerie. Les pierres impures, appelées « bort », sont utilisées comme « diamants industriels », notamment comme abrasifs et dans la fabrication de différents outils de coupe et de forage.

La quantité de pierres utilisées dans l'industrie dépasse, en poids, et de loin, celles qui sont utilisées comme gemmes ; en 1961, la production mondiale de diamants fut pour la première fois supérieure à 33 millions de carats (c'est-à-dire 6 600 kilogrammes), dont une bonne moitié vendue pour des utilisations industrielles à trois dollars le carat. Le principal producteur des diamants industriels est, aujourd'hui, le Zaïre.

Les tentatives faites pour obtenir artificiellement des diamants furent nombreuses : la plus fameuse est celle du chimiste français Moissan, qui utilisa du carbone pur, dissous dans du fer fondu, à la température de l'arc électrique. Dans la masse, rapidement refroidie, furent trouvés des cristaux possédant toutes les propriétés du diamant.

La validité de cette expérience, qu'il n'a pas été possible de reproduire, est fortement contestée. On peut supposer que Moissan, savant au-dessus de tout soupçon, a été trompé par l'un de ses assistants, qui aurait introduit des éclats de diamant dans le mélange.

L'expérience fut à nouveau tentée par la suite, en utilisant, comme solvant du carbone, le silicate de magnésium, dont la composition est proche de celle des roches diamantifères. Mais c'est seulement le 15 février 1955 que les techniciens de la société américaine General Electric Company réussirent à obtenir synthétiquement des diamants, petits et relativement impurs, donc utilisables uniquement pour l'industrie. Et pourtant, même pour un résultat aussi modeste, ces techniciens durent se placer dans des conditions, de température et de pression, très particulières : la pression dépassait 100 000 atmosphères (correspondant à une profondeur de plus de 500 kilomètres dans la croûte terrestre), et la température était supérieure à 2 500 °Celsius, conditions qu'il fut nécessaire de maintenir pendant plusieurs heures.

Malgré les difficultés qu'il faut surmonter pour effectuer la synthèse du diamant, plusieurs brevets ont été déposés au cours de ces vingt dernières années et la production de diamant artificiel est aujourd'hui une réalité. Mais il est difficile de connaître le chiffre exact de carats de diamants synthétiques placés sur le marché international.

CINABRE ET MERCURE

Bavestrelli - Bevilacqua - Prato



Échantillon de cinabre sur une gangue rocheuse provenant du val de Loibi (musée d'Histoire naturelle de Milan).

Le cinabre est un minerai assez peu répandu dans la nature : il s'agit du sulfure de mercure, HgS. C'est le seul minerai à partir duquel on extrait industriellement le mercure métal. Le cinabre est connu depuis longtemps à cause de sa belle couleur rouge-vermeil, avant même que le métal qu'il contient soit devenu important sur le plan technique.

Finement broyé, et souvent incorporé dans l'huile, il est utilisé comme pigment, surtout dans la fabrication des peintures. Mais le produit naturel contient fréquemment des impuretés qui lui donnent une couleur brune, avec des reflets de plomb ; aussi lui préfère-t-on un produit synthétique, connu sous le nom de « vermillon », dont la couleur est plus brillante, probablement à cause de la plus grande pureté que permet la sublimation (passage de l'état solide à l'état gazeux) d'un mélange de soufre et de mercure.

Comme nous venons de le dire, le cinabre n'est pas très répandu : il n'existe, en quantités exploitables, que dans quelques endroits de la croûte terrestre. Il se présente le plus souvent en masses compactes, granuleuses ou terreuses, accompagné, comme dans les mines d'Idrija, de substances bitumineuses ; on le trouve plus rarement sous forme de cristaux (ils sont rhomboédriques). Par ailleurs et enfin, le cinabre contenant parfois des gouttelettes de mercure élémentaire, les alchimistes ont longtemps spéculé sur cette particularité.

Les principaux gisements exploitables industriellement sont ceux d'Almadén, près de Cordoue, en Espagne, connus et exploités depuis l'Antiquité. Ils sont remarquablement riches, et on trouve justement dans leur minerai quelques gouttes du métal.

Les gisements d'Idrija ont commencé à être exploités à partir du XVIe siècle ; après avoir appartenu à l'empire austro-hongrois, ils passèrent, après la Première Guerre mondiale, à l'Italie, qui devint alors le principal producteur de mercure du monde. Aujourd'hui, ils appartiennent à la Yougoslavie.

Depuis 1850, on exploite aussi ceux, moins riches, du mont Amiata, en Toscane, dont le minerai contient en moyenne 1 % de mercure ; ils assurent aujourd'hui la quasi-totalité de la production italienne. Il faut rappeler, enfin, les gisements du Nevada et de la Californie (U.S.A.) : celui de New-Almaden, dont le minerai contient de 5 à 12 % de mercure, et celui de New-Idrija.

D'autres petits gisements sont exploités au Mexique, au Pérou, au Japon, en Chine. La quasi-totalité du mercure mondial provient de ceux que nous venons de citer : elle a rarement dépassé les 10 000 tonnes par an.

L'HISTOIRE DU MERCURE

Le mercure était connu, depuis l'Antiquité, des Chinois et des Indiens ; on en a même retrouvé dans des tombeaux égyptiens érigés environ 15 siècles avant J.-C. Il est probable qu'il avait alors plus de signification symbolique ou magique que d'utilisations pratiques.

Chez les Romains, le mercure était connu sous le nom d'hydrargyrium, terme dérivé du grec signifiant « vif-argent » ; en effet, il possède un bel éclat métallique lorsqu'il est pur, et il peut former de petites gouttelettes arrondies qui « roulent » très vite lorsqu'on les laisse tomber sur une surface, comme on peut le constater lorsqu'on casse accidentellement un thermomètre.

Au Moyen Age il reçut son nom actuel, dérivé de la planète Mercure, mais son symbole chimique Hg vient de son ancien nom.

Le mercure fascina les alchimistes, et cela ne surprend pas si l'on considère ses propriétés tout à fait singulières. En effet, il possède une densité élevée (13,6 fois celle de l'eau), et c'est le seul métal liquide à la température ambiante. A cause de ces propriétés, il fut longtemps considéré comme le « principe » de tous les métaux, et l'on prétendit même qu'il pouvait se transformer spontanément en or.

Cette opinion trouvait alors quelque fondement car il contient très souvent, à l'état d'impuretés, des métaux précieux, et même de l'or, impuretés très difficiles à supprimer. En outre, le mercure a la propriété caractéristique de former des « amalgames » avec beaucoup de métaux, notamment avec l'or. Seuls les progrès enregistrés dans la connaissance approfondie des propriétés chimiques de l'élément parvinrent à détruire les légendes dont il était entouré.



Bavestrelli - Bevilacqua - Prato

Bavestrelli - Bevilacqua - Prato



Le mercure natif se rencontre assez rarement : la photo ci-dessus permet de voir des gouttelettes de mercure sur un échantillon de minerai provenant de Lucques (musée d'Histoire naturelle de Milan).
Ci-contre : lampe à vapeurs de mercure, utilisée pour produire une lumière riche en radiations ultraviolettes.

PROCÉDÉS D'OBTENTION ET EMPLOIS DU MERCURE

Le mercure est obtenu à partir du cinabre par « grillage » en présence d'air. Son point d'ébullition n'étant que de 360 °C, il est facile d'en réaliser la distillation, mais les pertes sont assez importantes, car il est difficile de condenser entièrement les vapeurs de mercure.

On le purifie soit par une nouvelle distillation, soit en faisant tomber les gouttelettes de mercure à travers une solution d'acide nitrique dilué, ou encore en oxydant les impuretés au moyen de l'air chaud.

Le travail du mercure est très dangereux à cause de la toxicité élevée de ses vapeurs, susceptibles de provoquer, même à une faible concentration (par exemple, 0,15 mg par m^3 d'air), des intoxications chroniques très longues à soigner. Même à la température ordinaire, en raison de sa tension de vapeur, cet élément peut provoquer des troubles graves et impose, de ce fait, des précautions particulières — malheureusement souvent négligées — dans les locaux où l'on traite le mercure.

Cela, ainsi que la rareté du métal, explique le prix assez élevé du mercure.

Le mercure est mis généralement dans le commerce dans des récipients en fer (il ne donne pas d'amalgame avec ce métal), d'une contenance de 34,5 kg, selon une vieille mesure espagnole. Il se conserve également dans des flacons de grès ou de polyéthylène. Les 2/3 de la production annuelle servent à fabriquer des appareillages électriques, des dispositifs électrolytiques et des instruments; le reste est utilisé aux fins les plus diverses, d'où le nom de « métal aux mille usages », donné au mercure. Il est aussi employé pour l'extraction de métaux nobles. Parmi les propriétés caractéristiques du mercure, rappelons encore son inaltérabilité à l'air, sauf à chaud et après un temps d'exposition très long, sa faible solubilité dans les acides, sauf dans l'acide nitrique concentré, qui est un oxydant actif.

Par sa propriété de se dilater considérablement sous l'effet de la chaleur, le mercure trouve un emploi dans la fabrication des thermomètres; cette même propriété est utilisée dans les thermo-régulateurs, qui permettent de maintenir à une température constante des récipients chauffés électriquement; ils jouent le rôle d'interrupteurs de courant en intervenant lorsque la température dépasse une valeur donnée.

Tout le monde connaît aussi l'utilisation du mercure dans les baromètres qui donnent la mesure de la pression atmosphérique, et dans les lampes à mercure qui émettent une lumière intense ainsi que des radiations ultraviolettes permettant des applications scientifiques, industrielles et thérapeutiques.

L'étalon de « résistance » électrique, l'ohm, a été réalisé à l'aide du mercure qui, comme la plupart des métaux, est un bon conducteur de l'électricité.

Le mercure est également utilisé dans les soupapes de régulation pour les hautes pressions, dans les redresseurs de courant, dans les chaudières et les turbines destinées à travailler à des températures très élevées, cet emploi étant toutefois limité par la forte toxicité des vapeurs.

Il est également employé dans les « pompes à diffusion », qui permettent de réaliser un vide très poussé; enfin, son utilisation dans les laboratoires scientifiques est fréquente.

Parmi les composés du mercure, rappelons avant tout les amalgames : de nombreux éléments, ou leurs sels, réagissent vivement, à la température ordinaire, avec le mercure pour donner des composés « intermétalliques », c'est-à-dire possédant les propriétés physico-chimiques des alliages; ces amalgames, le plus souvent fragiles, apparaissent généralement comme des solides, sauf lorsque le mercure se trouve en proportion nettement prédominante, auquel cas ils sont liquides.

Certains sels de mercure trouvent des applications dans l'analyse chimique; ainsi, l'iodomercurate de potassium, utilisé comme réactif très sensible révèle la présence d'ammoniaque dans les eaux, et détermine si celles-ci sont potables ou non : des quantités même très faibles d'ammoniaque sont mises en évidence par une intense coloration jaune-orangé.

Enfin, le fulminate de mercure, obtenu à partir du nitrate mercurique que l'on fait réagir avec l'alcool éthylique (éthanol), possède la propriété d'exploser violemment sous l'action d'un choc et, de ce fait, sert comme explosif d'amorçage dans les détonateurs.

Autrefois, le mercure servait aussi dans la fabrication de miroirs, aujourd'hui très recherchés à cause de leur rareté; mais cette méthode est maintenant abandonnée au profit d'autres procédés moins dangereux, qui permettent d'obtenir des miroirs plus lumineux et au pouvoir réfléchissant supérieur. Les composés du mercure connaissent aussi des applications importantes dans l'industrie pharmaceutique, pour la préparation de désinfectants, de diurétiques et de fongicides. Le chlorure mercureux, Hg_2Cl_2, connu sous le nom de calomel, était jadis largement employé comme laxatif. Le chlorure mercurique, $HgCl_2$, est un désinfectant énergique, utilisé en pastilles ou en solution alcoolique très diluée; il est connu sous le nom de sublimé corrosif.

Un autre désinfectant, moins énergique, est le mercurochrome, composé organique du mercure. Certaines préparations mercurielles sont des diurétiques remarquables.

Quelques maladies de la peau sont traitées à l'aide de pommades contenant du mercure finement broyé, de l'oxyde mercurique, de l'oléate de mercure; l'emploi de dérivés mercuriels dans le traitement des maladies vénériennes est aujourd'hui largement dépassé, au profit de produits nouveaux dont l'efficacité est plus grande et les effets secondaires moindres.

Rappelons enfin les nombreuses et importantes utilisations du mercure dans les installations pour électrolyse, au premier rang desquelles il convient de citer, en raison de leur diffusion, les installations pour la production de la soude caustique et du chlore, qui utilisent comme cathode le mercure (par exemple dans les cellules électrolytiques « De Nora »).

Certaines piles sèches ont comme composants le zinc et le mercure, leurs oxydes et l'hydroxyde de potassium. Enfin, il existe deux systèmes de référence, largement utilisés en électrochimie, à base de mercure ou de l'un de ses composés.

La « pile Weston », constituée d'électrodes de cadmium et de mercure, de leurs sulfates respectifs et d'eau, engendre une force électromotrice constante et connue, ce qui en fait une « pile-étalon ».

Le deuxième est l'électrode au calomel, constituée de mercure et de calomel solide et d'une solution de chlorure de potassium de concentration rigoureusement définie. On l'utilise comme électrode de référence dans les mesures électrochimiques (par exemple dans les pH-mètres) à la place de l'électrode à hydrogène, beaucoup plus difficile à manier.

LES PIERRES DE CONSTRUCTION

Deux millions trois cent mille blocs de granite et de calcaire ont été nécessaires pour la construction de la pyramide de Chéops. Cent mille hommes y ont travaillé pendant 20 ans, traînant sur des plans inclinés d'énormes blocs de pierre, arrachés aux carrières de granite d'Assouan et aux flancs calcaires des montagnes de Mokattam. Cette masse de pierres occupe, sur une surface de 54 300 m², un volume de 521 000 m³. Aujourd'hui encore, la pyramide de Chéops est la plus grande construction en pierres du monde.

Quel exemple pourrait mieux illustrer l'importance de la pierre dans le domaine de la construction, dès la plus haute antiquité?

L'histoire nous a d'ailleurs légué d'autres exemples d'utilisation des roches : les dolmens et les menhirs, en France et en Angleterre, formés par d'énormes pierres grossièrement travaillées ou utilisées à l'état brut; les nuraghi de Sardaigne et les murs cyclopéens de la Grèce préhistorique, construits avec un sens très poussé de l'architecture, à l'aide de blocs superposés calés par de petites pierres tenant lieu de mortier; les temples mégalithiques de l'île de Malte, qui témoignent déjà de l'utilisation du ciseau dans un but décoratif.

Plus tard, de nouveaux matériaux, plus nobles, furent utilisés par les Grecs, en particulier le marbre de Paros à la blancheur éclatante, qui servit à la construction du Parthénon, le grès et le calcaire, dans l'Italie méridionale, où le marbre était plus rare. De leur côté, les Romains utilisèrent le tuf, le travertin et la pierre volcanique qui, très résistante, servit à paver leurs célèbres routes.

Peu à peu, les techniques de travail de la pierre se perfectionnèrent et l'utilisation des pierres de construction s'affina. On en vint alors à distinguer différentes catégories de pierres, qui restent valables encore aujourd'hui : le ballast, utilisé pour la construction de murs et de jetées, pour l'empierrement des routes, la confection des voies ferrées, etc.; les moellons, provenant de grès et de calcaires plus faciles à travailler, utilisés pour la construction de murs de façade; les pierres de taille de tous types (calcaires, grès, granites, syénites, gneiss), servant pour des constructions diverses (habitation, ouvrages d'art et monuments); les pierres destinées au pavage des routes (grès et granites); les pierres ornementales, faciles à tailler et à polir.

La brique puis le ciment remplacèrent peu à peu la pierre dans la construction des structures porteuses des bâtiments, et leur emploi, plus aisé, est aujourd'hui généralisé. Mais la pierre, si elle sert toujours à l'empierrement des routes, demeure surtout le matériau noble par excellence qui pare les églises, les palais, les temples et les belles façades des bâtiments.

De nos jours on bâtit fort peu de maisons entièrement en pierres. Leur usage est principalement réservé à l'édification des fondations de maisons particulières, à la restauration de constructions anciennes et chaque fois que l'imposent des mesures destinées à la protection des sites.

L'utilisation de la pierre dans un but essentiellement décoratif se développa à partir de la Renaissance : les exigences devinrent de plus en plus raffinées et conduisirent à rechercher des matériaux toujours plus nobles,

Les pyramides d'Égypte (ci-dessous, la pyramide de Chéops, à Gizeh) nous offrent l'un des exemples les plus grandioses d'utilisation des pierres de construction.

C. Bevilacqua



comme la fameuse pierre de Florence (variété de marbre) des monuments toscans, le marbre de Carrare, les granites de l'Italie septentrionale, le travertin des carrières du Latium, ainsi qu'un grand nombre d'autres variétés de marbre, de calcaire et d'albâtre. Même la malachite a été utilisée comme pierre à bâtir, par exemple pour la cathédrale Saint-Isaak à Leningrad.

Il serait impossible d'énumérer tous les types de pierre de construction, car, pratiquement, toutes les roches ont été utilisées à cet effet.

QUALITÉS DES PIERRES DE CONSTRUCTION

Nous envisagerons plutôt les caractéristiques techniques des pierres de construction, c'est-à-dire les propriétés qui rendent une pierre plus ou moins adaptée à tel ou tel emploi. Les propriétés à considérer sont très nombreuses : masse volumique ; perméabilité à l'air et à l'eau ; dureté ; facilité de façonnage ; résistance à l'usure et aux agents chimiques ; élasticité ; compacité ; comportement vis-à-vis des variations de température et conductibilité thermique.

Pour les pierres ornementales, on tient compte de la facilité de polissage et de taille ; pour les pierres de maçonnerie, la plus ou moins grande adhérence des mortiers de chaux et de ciment mérite également attention.

La masse volumique de la pierre doit son importance au fait qu'elle intervient dans tous les calculs relatifs à la structure d'un bâtiment. Voici quel est le classement des pierres par ordre de poids croissant : les tufs (légers), les travertins, les calcaires tendres (de poids moyen), les calcaires compacts, les dolomies, les diorites et les syénites (denses), les basaltes, les serpentines, les amphibolites (très denses).

La perméabilité revêt aussi une certaine importance, car elle détermine la plus ou moins grande résistance d'une pierre à l'action des agents atmosphériques ; parmi les pierres perméables on trouve les grès tendres, la craie et certaines roches volcaniques, tandis que les grès homogènes, les calcaires durs, les roches endogènes (ou éruptives) massives telles que les granites et les basaltes sont peu perméables.

L'échelle de porosité croissante s'établit ainsi : granites et calcaires saccharoïdes (marbre de Carrare, par exemple), calcaires massifs, pierres de Florence, calcaires tendres et travertins, tufs, pierres ponces.

Plus une roche est perméable, plus elle est hygroscopique, c'est-à-dire plus elle absorbe d'eau, dont on connaît le rôle en tant qu'agent de dégradation. Mais les roches poreuses ont l'avantage d'être plus légères, ce qui montre que bien souvent les qualités des pierres peuvent paraître contradictoires.

Une autre propriété importante à considérer est la résistance des pierres aux conditions climatiques. Ainsi, l'albâtre ne peut être utilisé à l'extérieur des bâtiments, puisqu'il est dissous par l'eau. Les calcaires peuvent être attaqués par des eaux carbonatées ainsi que par l'acide sulfurique, souvent présent dans les eaux (et dans les fumées de combustion de nombreuses substances). La présence de pyrite dans les roches se révèle nuisible, puisque celles-ci se transforment peu à peu en limonite, provoquant la désagrégation de la pierre.

Les roches feldspathiques tendent à se transformer en argiles, plus ou moins lentement selon les climats. Les roches poreuses, qui absorbent de l'eau, résistent très mal sous les climats où se succèdent des phénomènes de gel et de dégel, puisque la glace, qui a un volume supérieur à celui de l'eau, tend à les désagréger (de telles pierres sont dites « gélives »).

LES PIERRES LES PLUS RÉSISTANTES

Pour les motifs que nous venons d'exposer, les roches qui présentent une texture compacte microcristalline, offrent la plus grande résistance ; les roches poreuses ou même schisteuses sont plus fragiles puisque les plans de schistosité constituent des points d'attaque pour les agents de désagrégation.

Le climat exerce une influence considérable sur la durée d'un matériau rocheux : le marbre de Carrare, par exemple, se révèle très résistant sous les climats chauds et secs, tandis qu'il s'altère rapidement en pays froids et humides, car, bien que compact, il peut être attaqué par les eaux carbonatées. La pierre de Florence résiste bien lorsqu'elle est exposée à l'ouest ou au sud-ouest, tandis que sa résistance est mauvaise sur les façades exposées au nord.

Les roches les plus résistantes aux agents atmosphériques sont les porphyres quartzifères, mais ceux-ci sont difficiles à travailler ; viennent, ensuite, les granites, les syénites, les calcaires et les travertins. Les grès ont une tenue variable suivant la nature du matériau cimentant les grains, les quartzites sont particulièrement solides.

La résistance aux agents chimiques est une autre propriété souvent exigée des roches utilisées dans la construction. Nous avons déjà vu que les calcaires sont facilement attaqués par les acides, même de force moyenne, tandis que les ardoises et certains schistes argileux (qui étaient utilisés dans l'industrie chimique), de même que les basaltes, résistent très bien aux acides forts.

La compacité est une qualité indispensable pour une pierre à bâtir destinée à supporter une certaine charge : une bonne pierre ne doit ni s'écraser facilement ni se déformer à la compression. A cet égard, les meilleures roches sont celles constituées de silicates, suivies par celles formées de carbonates.

Les grès, trop friables, sont exclus de certains emplois. Les roches à grain fin sont les plus compactes. Les roches présentant des strates de matériaux différents ne peuvent être utilisées qu'en les appareillant de telle sorte que la stratification soit perpendiculaire à la charge, faute de quoi il y aurait un risque sérieux de dislocation. Quant aux propriétés mécaniques, les roches, en raison de leur structure, sont généralement assez peu élastiques et résistent mal à la traction.

La dilatation à la chaleur et la conductibilité thermique sont des propriétés qu'il convient de prendre en considération ; les roches bonnes conductrices de la chaleur conviennent pour des travaux de maçonnerie à l'intérieur des bâtiments, car elles permettent un bon chauffage des locaux. Au contraire on utilise de préférence des matériaux ayant des qualités d'isolant thermique pour édifier les murs de façades. Il faut, de plus, éviter le risque de dilatation sous l'effet de la chaleur ; aussi, près des cheminées, utilise-t-on des roches réfractaires, que l'on emploie aussi pour le revêtement de certains fours.

Pour les pierres à bâtir, il est important de tenir compte aussi de l'adhérence qu'elles offrent aux liants habituels, c'est-à-dire aux mortiers de chaux et de ciment. L'adhérence est meilleure pour les matériaux poreux ; en revanche, l'adhérence est mauvaise lorsque la pierre est recouverte d'une patine argileuse, d'autant plus que l'argile est assez inerte au point de vue chimique. Les roches acides (qui contiennent de la silice) offrent une meilleure prise à la chaux (qui est basique) que les roches de nature alcaline, telles que les calcaires.

Une roche qui se délite en plaques présente un intérêt considérable comme matériau de revêtement ; ce caractère est dû soit à la stratification de la roche, soit à sa schistosité, soit encore à la présence de fissures.

Enfin, la facilité de façonnage et surtout de polissage est une qualité de première importance pour les roches décoratives ; à cet égard, une roche moins réputée, mais facile à polir, peut avoir plus de valeur qu'une autre, plus belle et plus appréciée, mais se prêtant mal au polissage.

L'une des caractéristiques les plus importantes des roches décoratives est la couleur ; il en est de monochromes (comme les marbres de Carrare et de Paros, complètement blancs) et de polychromes, comme la plupart des marbres, des calcaires, des granites, des serpentines. La polychromie est due à la présence d'impuretés ou au fait que la roche est constituée de minéraux variés. Certains de ceux-ci jouent un rôle particulièrement important dans la coloration des roches : la chlorite et l'olivine les colorent en vert, parfois assez intense, la biotite et la hornblende en noir.

Les couleurs peuvent passer avec le temps ; par exemple, certains marbres noirs peuvent devenir peu à peu grisâtres, des calcaires, auxquels des impuretés de fer donnent une coloration jaune ou rouge, peuvent de même perdre la vivacité de leur coloration initiale et, partant, leur valeur décorative.

LES MARBRES

Par opposition avec les autres pierres utilisées pour la construction qu'ils dénommaient lapis, *les Romains appelaient* marmora *tous les matériaux qui, faciles à tailler et à polir, étaient aptes à être utilisés dans un but ornemental. Aujourd'hui encore, on appelle très souvent « marbres » des roches qui n'ont aucun rapport, ni par leur composition, ni par leur mode de formation, avec le véritable marbre.*

Les marbres, au sens strict, sont des calcaires cristallins. Ce sont d'anciens calcaires sédimentaires, transformés sous l'action de la pression et d'une élévation de température (métamorphisme), qui ont recristallisé en perdant presque complètement leur structure sédimentaire originelle. Les marbres proprement dits ont une structure granulaire très fine, qui rappelle celle du sucre : c'est la structure dite « saccharoïde ».

Les fossiles sont très rares dans les marbres, et, lorsqu'ils existent, ils s'y présentent en mauvais état de conservation. Un marbre tout à fait pur doit être constitué uniquement de carbonate de calcium ; à l'analyse chimique on trouve alors une teneur de 56 % en oxyde de calcium et de 44 % en anhydride carbonique. Mais en réalité, tous les marbres contiennent, en plus de la calcite, des composants accessoires, caractéristiques du sédiment originel ou du type de métamorphisme subi par celui-ci.

Les minéraux accessoires les plus fréquents sont le quartz, l'albite, le mica, le graphite, disséminés ou concentrés en lits (à la suite de phénomènes de dynamométamorphisme, c'est-à-dire dus à l'action de la pression). En revanche, les marbres issus du métamorphisme de contact ou de profondeur (il y a dans ce cas action de la chaleur et de la pression et possibilité d'apports chimiques) contiennent d'autres minéraux : ceux qui dérivent de la dolomite contiennent de la brucite, de la forstérite, du périclase et du diopside ; en outre, on y trouve des pyroxènes, des amphiboles, des humites, des wernérites, des spinelles, de l'épidote.

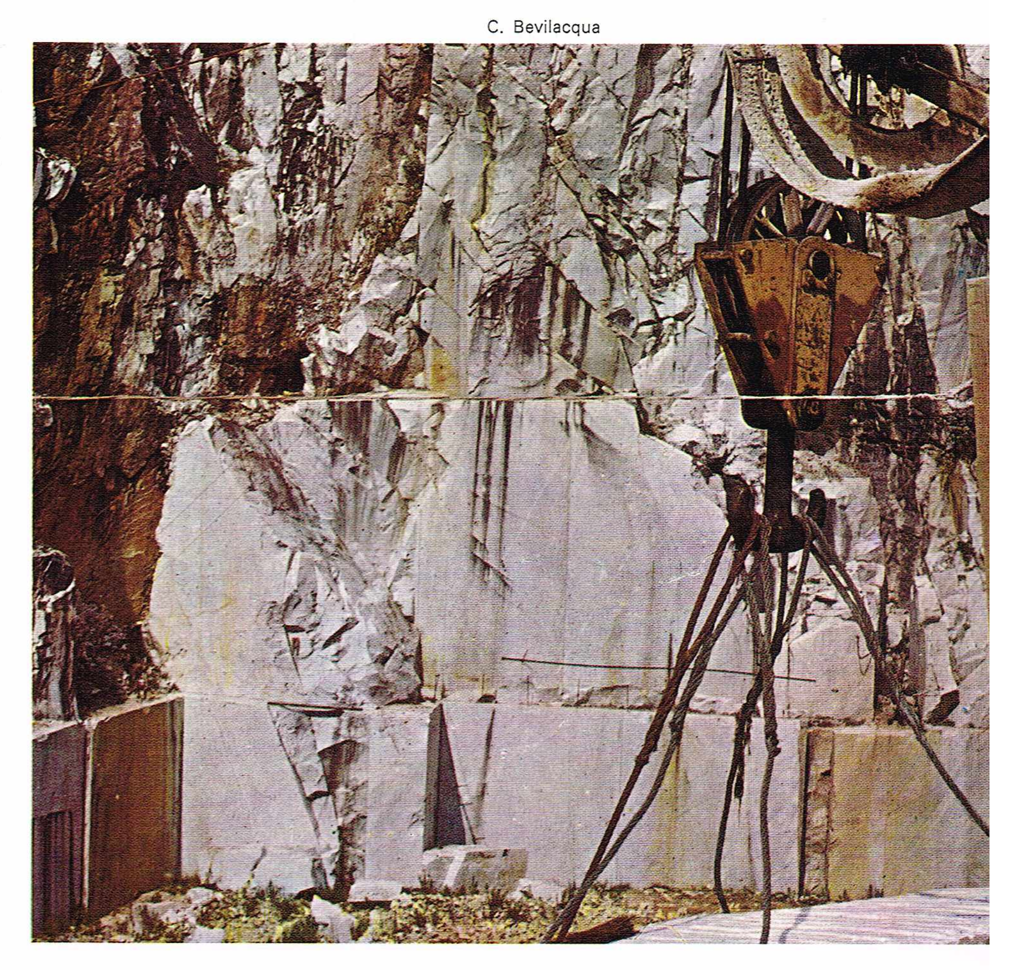
Ces minéraux accessoires proviennent en grande partie de la transformation de sables, d'argiles, de matériaux organiques, etc., présents dans le calcaire d'origine ; ils se trouvent emprisonnés dans le marbre au cours du métamorphisme. De nombreux minéraux peuvent se former sous l'action de la chaleur liée au métamorphisme qui entraîne l'élimination de l'anhydride carbonique. L'oxyde de calcium apparaît alors en excès et peut se recombiner avec la silice empruntée aux sables pour donner des silicates.

Les marbres exploités commercialement (la dénomination de « marbres » s'appliquant couramment à certains calcaires n'ayant subi aucun métamorphisme, comme des calcaires fossilifères) ont une densité d'environ 2,70 et résistent à une température supérieure à 1 000 °C (aussi les utilise-t-on pour des constructions destinées à résister aux incendies). Lorsqu'ils sont employés en atmosphère sèche, ils possèdent une durabilité remarquable, notamment à cause de leur faible porosité. Ils résistent moins bien en présence d'humidité et se laissent attaquer par les acides, même faibles ; ils donnent alors lieu à un dégagement vigoureux d'anhydride carbonique ; la mousse et les bulles de gaz qui s'échappent lors de cette réaction, par exemple sous l'action de l'acide chlorhydrique, permettent de distinguer facilement les calcaires des autres roches.

LES CARRIÈRES ET LES DIFFÉRENTES VARIÉTÉS DE MARBRES

Les carrières de marbre sont très nombreuses tant en Europe que sur les autres continents. La France, la Belgique, l'Angleterre et l'Espagne en fournissent d'appréciables quantités. L'Uruguay exporte de nombreuses variétés de marbres colorés ; on le trouve aussi en abondance en Inde, en Afrique, ainsi qu'aux U.S.A., notamment dans les monts Appalaches, et au Canada. Mais l'un des plus grands producteurs de marbre du monde, et cela depuis l'Antiquité, reste l'Italie ; les marbres italiens sont parmi les plus employés et les plus appréciés, notamment ceux qui proviennent de la région de Carrare dans les Alpes Apuanes : les très nombreuses carrières de ce secteur fournissent depuis plus de vingt siècles un marbre de très grande qualité.

C. Bevilacqua



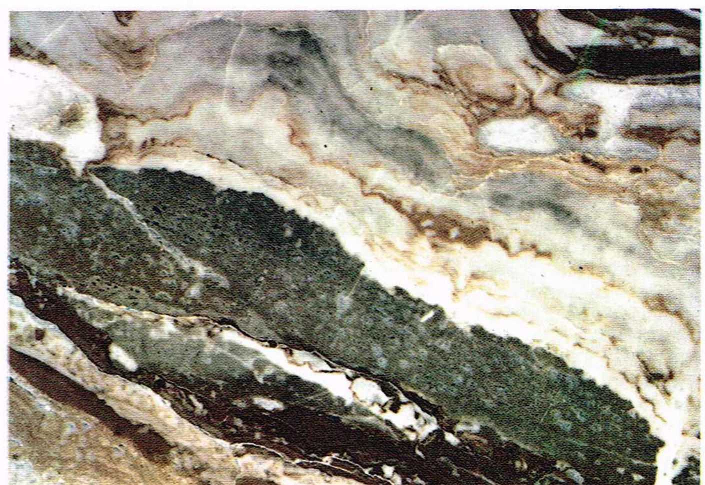
Carrière de marbre dans les environs de Massa (Toscane) ; c'est de cette région que proviennent les marbres les plus célèbres du monde.

Le marbre « blanc », le plus répandu, est d'une couleur blanche tendant au gris bleuté, avec des veinures grises. Le marbre « statuaire », très blanc et facile à travailler, est largement employé dans la sculpture, mais résiste assez mal aux agents atmosphériques. La blancheur et l'homogénéité sont les principales qualités que doit présenter un marbre destiné à l'art statuaire ; il ne faut pas que les blocs contiennent des noyaux plus durs, noyés dans la pâte de fond, ni d'autres inclusions.

Le « bardiglio » est un marbre veiné ou tacheté, de couleur nettement gris bleuté, due à des impuretés charbonneuses présentes dans le calcaire originel. Au contact des roches environnantes, les fentes de certains marbres ont été comblées par des solutions ferrifères, ce qui a



C. Bevilacqua



C. Bevilacqua

Quelques variétés de marbre. A gauche : marbre rouge de Vitrolles (France) [musée d'Histoire naturelle de Milan] ; à droite : marbre polychrome ramagé rouge.

donné naissance à des marbres bréchiformes, à des cipolins, et aux bardiglios fleuris ou tigrés, répandus surtout dans la plaine de la Versilia.

Les « bardiglios » varient beaucoup d'une carrière à l'autre, comme varient les dénominations qui les désignent ; les plus connus sont le « bardiglio commun » gris-bleu d'azur, le « bardiglio foncé », franchement gris-bleu, et le « bardiglio clair ». Le « bardiglio cappella » et le « bardiglio impérial », aux couleurs sombres, sont également réputés.

Le marbre statuaire offre aussi certaines variétés, parmi lesquelles le « piastriccia », qui présente des veinures verdâtres sur un fond blanc.

Le « paonazzo » est très élégant avec son fond jaune clair veiné de violet et de vert.

L' « arabescato », variété fort appréciée, a un fond clair et des taches de couleur gris cendré, tandis que le « fior di pesco » présente un fond blanc avec des veines rouge violacé.

Les « cipolins » offrent une grande variété de teintes et de dessins : ils proviennent de différentes localités des Alpes Apuanes ; il s'agit en général de pierres formées d'une pâte à fond blanc, jaune verdâtre, tendant parfois vers le cendré, avec des bigarrures verdâtres dues à la présence de chlorite.

Les Alpes Apuanes produisent aussi d'importantes quantités de brèches constituées d'éléments de marbre assez grands, cimentés par de la calcite non métamorphisée. Leur diversité est liée tant à la tonalité du marbre qu'à celle de la pâte qui est le plus souvent d'une teinte rouge ou brune, due à des impuretés de fer.

La richesse de l'Italie ne se limite pas aux très nombreux gisements de la région de Carrare et il est impossible de citer ici toutes les carrières de marbre et de pierres marbrières exploitées sur le reste du territoire.

EXTRACTION ET UTILISATIONS DES MARBRES

Depuis très longtemps, les marbres sont utilisés comme pierres de construction et de décoration : tels, les monuments grecs, faits de marbre, et en tout premier lieu, le Parthénon d'Athènes avec ses frontons sculptés. C'est le marbre éclatant de Paros qui a servi à son édification. Ce matériau était extrait dans l'une des îles de l'archipel grec. Ce marbre fut aussi très largement employé par les Romains, qui en furent les plus grands utilisateurs de l'Antiquité. En effet, en raison de l'immense étendue de leur empire, ils édifièrent leurs monuments en utilisant les matériaux les plus divers que l'on pouvait trouver sur place ; mais — c'est vrai notamment pour les monuments de Rome — ils employèrent très souvent, pour les décorer, du marbre qu'ils faisaient venir de très loin.

De nos jours, le marbre est encore très largement employé dans l'architecture et même dans la décoration intérieure d'appartements luxueux. Il se prête aux emplois les plus divers : revêtement de murs et de sols, habillage de baignoires, dessus de meubles, etc.

L'extraction des marbres se fait généralement à ciel ouvert ; les carrières souterraines sont rares et ne sont exploitées que lorsqu'elles recèlent des matériaux de grand prix, en raison du coût élevé de leur extraction. Lorsque les gisements se trouvent, comme c'est souvent le cas, sur des pentes très abruptes, il n'est possible de les exploiter qu'en les aménageant en gradins, en forme d'amphithéâtre. L'extraction du marbre se fait alors par gradins successifs. Le matériau est scié à l'aide d'un fil métallique hélicoïdal et on se sert d'explosifs pour dégager les blocs déjà sciés.

Le fil hélicoïdal est une tresse de fil métallique formant une boucle sans fin qui est entraînée par un jeu de poulies à la vitesse de 5 à 6 mètres/seconde. On l'amène à glisser, en lui faisant exercer une certaine pression, sur le matériau à couper. Un dispositif verse sur ce fil un mélange de sable et d'eau, coulant goutte après goutte. Le pouvoir abrasif du sable entraîné par le fil réalise la coupe proprement dite. Avec ce système, et grâce à un jeu savant de progression et d'abaissement des poulies, on peut pousser la coupe jusqu'à une profondeur de quelques dizaines de mètres.

Les blocs ainsi découpés et détachés doivent être transportés jusqu'aux lieux de finition et d'utilisation, souvent à travers des terrains malaisés ; jadis, on les faisait rouler, mais ce système endommageait beaucoup le matériau. Aujourd'hui, on utilise des sortes de traîneaux, mus généralement à la main ; dans quelques rares cas, il est possible d'employer des traîneaux mécaniques, des plans inclinés, des téléphériques et des voies ferrées spéciales, comme on en voit dans les environs de Carrare.

La finition, le sciage des blocs en plaques et toutes les autres opérations sont aujourd'hui presque totalement automatisés : ainsi, l'emploi de châssis multilames permet d'obtenir plusieurs plaques simultanément. Pour la finition, on emploie des fraises, des raboteuses et des lustreuses. Le personnel affecté à ces travaux est hautement spécialisé ; surtout dans la région des Alpes Apuanes, on rencontre encore fréquemment des tailleurs de pierre et des modeleurs, dont le métier, vieux de plusieurs siècles, demeure irremplaçable.

Les pertes au cours des différentes opérations d'extraction et de finition représentent environ la moitié de la production des carrières ; aussi, pour faire face au coût élevé du marbre, on s'efforce aujourd'hui de trouver de nouveaux débouchés aux divers déchets provenant des marbreries. Les fragments de marbre sont utilisés pour fabriquer des « pierres artificielles » ; la poudre est vendue comme abrasif et trouve aussi un emploi dans l'industrie des savons. Les fragments les plus petits sont utilisés comme ballast, ou dans la fabrication de dallages composites. Finement broyés, on les emploie, dans l'agriculture, pour le traitement du sol et dans l'industrie des poudres à blanchir.

Le marbre aujourd'hui n'a rien perdu de son ancienne importance ; bien au contraire, on constate une augmentation du nombre de carrières exploitées et une diversification des emplois de ce matériau.

TRAVERTINS ET TUFS

Ce sont des roches de composition et d'origine totalement différentes, mais qui connaissent des emplois communs. Dès l'Antiquité, ce furent les deux matériaux les plus utilisés dans la construction, en Italie centrale et méridionale ainsi qu'en Sicile : en effet, les murs de la Rome antique furent, à l'origine, construits en tuf, et de nombreux monuments de la Ville éternelle sont en travertin ou habillés de travertin. Tous deux se prêtent parfaitement à la coupe et au façonnage, et sont particulièrement abondants dans le Latium et en Campanie.

LE TRAVERTIN

Très répandue comme pierre de construction, cette roche est couramment utilisée pour le revêtement des sols et des murs.

Son nom dérive du latin lapis tiburtinus, *qui signifie « pierre de Tivoli » (c'est en effet près de cette localité que se trouvaient les principales carrières de travertin). C'est un calcaire d'origine chimique, provenant de la précipitation, en milieu continental, d'eaux riches en carbonates. Les travertins se sont formés par accroissement progressif de dépôts calcaires au voisinage des sources et des cascades; le mouvement tourbillonnant des eaux, en ces lieux, favorise en effet l'élimination de l'anhydride carbonique dissous, ce qui provoque, en conséquence, la précipitation du carbonate de calcium; ils se forment aussi sur le fond des bassins alimentés par des eaux calcarifères, toujours sous l'action d'un appauvrissement des eaux en anhydride carbonique, mais dû cette fois à l'activité biologique (photosynthèse des Algues vertes). Dans ce dernier cas, les dépôts se présentent en couches très régulières, ce qui permet d'y tailler sans difficultés, à l'aide du fil hélicoïdal, des blocs aux dimensions voulues.*

Le travertin possède une structure caractéristique dite « vacuolaire », car il présente de nombreuses cavités résultant de la disparition de la matière organique provenant de mousses et d'autres végétaux restés prisonniers du calcaire au cours de sa précipitation. De ce fait le travertin a une masse volumique relativement faible. Les vacuoles peuvent être très nombreuses, la pierre semble alors spongieuse (« pierre éponge ») ; mais il arrive aussi que les vacuoles soient presque totalement absentes, ce qui donne à la roche un aspect compact, laissant souvent apparaître des signes évidents de stratification. La couleur varie du blanc jaunâtre au blanc rougeâtre : elle dépend de la présence d'impuretés, notamment d'oxydes de fer.

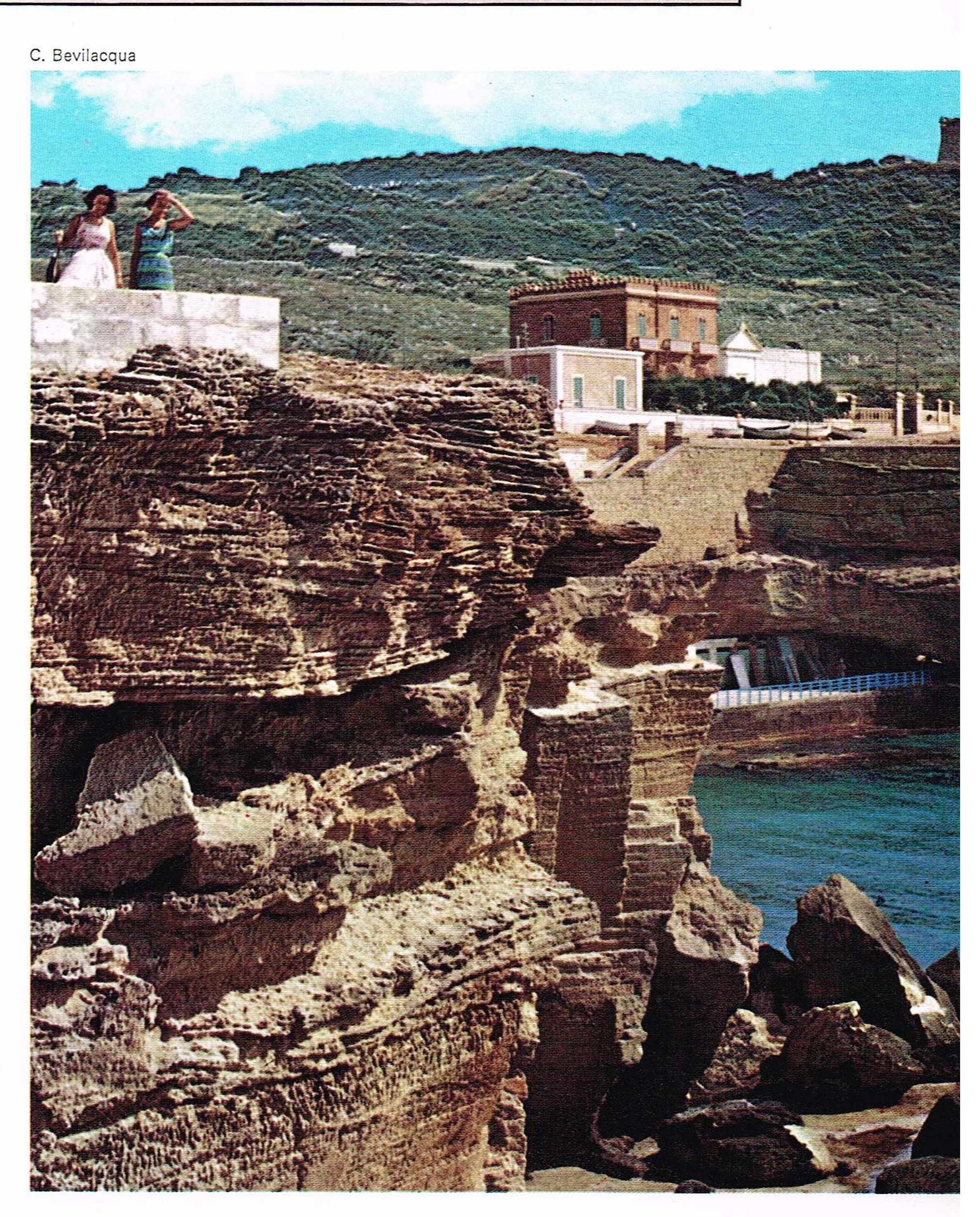
En dépit de sa porosité, le travertin résiste très bien aux agents atmosphériques, et c'est à cela que l'on doit la conservation d'une grande partie des monuments romains.

Les carrières de travertin de Rapolano et de Serra di Rapolano (Sienne) sont très connues; elles fournissent un matériau très peu stratifié, poreux, offrant une très bonne résistance mécanique; il est en général presque blanc, mais on en connaît des variétés de teinte foncée (travertin ancien, travertin sombre et travertin veiné).

D'autres carrières, en Toscane (Chiusidino, près de Sienne), fournissent une variété jaune et une variété rosée; on en trouve également dans la région de Pistoia.

Le travertin est également exploité dans les Marches et en Ombrie (province de Pesaro, de Pérouse et surtout de Terni), mais les principaux gisements sont toujours ceux du Latium, près de Tivoli. Ils ont produit (et continuent de produire) une grande partie des matériaux utilisés par les bâtisseurs romains. Cette roche se rencontre également en France où elle n'a cependant pas un développement comparable. Toutefois le travertin de Sézanne (Marne) est très renommé dans le milieu des paléobotanistes; il a en effet fourni de remarquables empreintes de végétaux, d'âge oligocène.

C. Bevilacqua

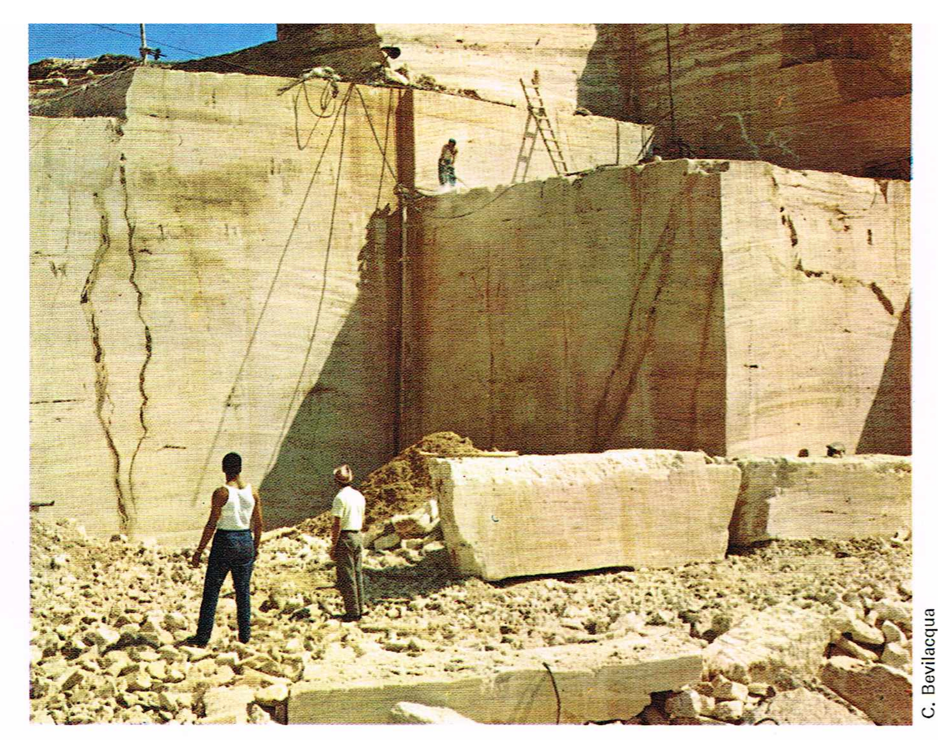


Anciennes carrières de tuf à Santa Cesarea Terme (Pouilles).

D'autres travertins se forment, en couches épaisses, dans le voisinage des geysers, ils peuvent aussi se déposer dans des fontaines pétrifiantes.

LES TUFS

Beaucoup plus divers par leur composition et leur origine, les tufs, quand ils ne sont pas calcaires, sont liés à des phénomènes volcaniques. Ce sont, alors, des roches pyroclastiques, c'est-à-dire des roches formées de débris projetés par les explosions volcaniques qui après s'être déposés à plus ou moins grande distance du lieu de l'éruption ont subi une cimentation. Ainsi, les dépôts volcaniques incohérents deviennent des roches plus ou moins compactes, formées de cristaux, de verres volca-



C. Bevilacqua

Ci-dessus : une carrière de travertin près d'Ascoli (Marches). On distingue parfaitement la stratification régulière de la roche.
Buste monumental en tuf volcanique à Ahu-Akivi dans l'île de Pâques (Pacifique méridional).

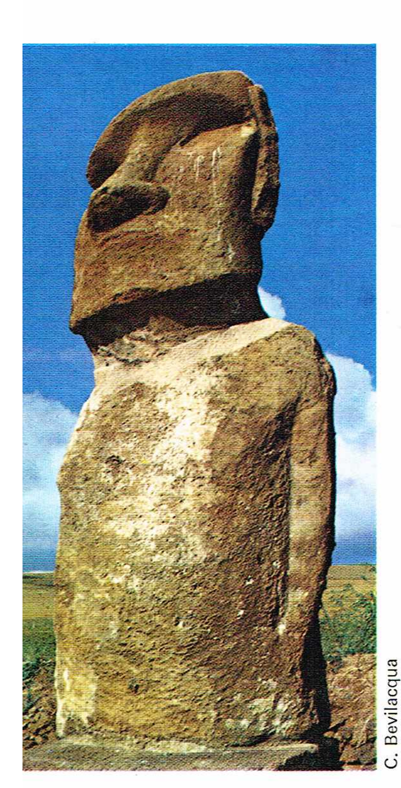
niques et de débris rocheux préexistants, contenant parfois des fossiles. On comprend donc aisément les raisons pour lesquelles les tufs ont une composition chimique et une structure très différentes selon les lieux et selon les types de lave dont ils sont issus. On adopte d'ailleurs à leur égard une classification fondée sur la nature du magma dont ils proviennent, et qui permet de distinguer les tufs rhyolitiques, les tufs andésitiques, les tufs trachytiques et les tufs basaltiques.

Ce sont des roches très hétérogènes, constituées de fragments de dimensions variables : les cinérites ou tufs cinéritiques sont formés de granules d'une taille inférieure à deux millimètres; lorsque les granules mesurent de 2 à 30 millimètres, on a les tufs proprement dits; au-delà de 30 millimètres, ce sont les tufs bréchiformes. Il existe, en outre, des cinérites, c'est-à-dire des dépôts de matériau volcanique (cendres fines) d'origine détritique, mêlés à des sédiments d'une autre origine, contenant souvent un grand nombre de coquillages marins. Enfin, les « ignimbrites » ou « tufs soudés », proviennent des « nuées ardentes » qui se forment parfois le long des flancs des volcans au moment des éruptions.

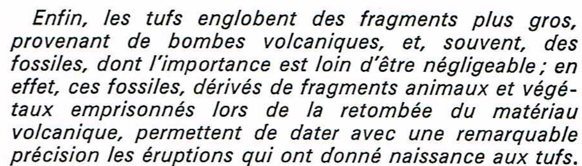
Un autre mode de classement des tufs se fonde sur leur teneur en verre volcanique ; le verre volcanique est un matériau non cristallin : né à très haute température, il a subi un refroidissement rapide au cours de l'éruption, empêchant la cristallisation de ses constituants. Les verres volcaniques, divisés en acides et basiques, ont une composition très diverse. En fonction de la quantité de verre par rapport au matériel cristallin qu'ils contiennent, les tufs sont donc classés en quatre groupes : tufs vitreux, contenant plus de 75 % de verre ; tufs vitro-cristallins, de 50 à 75 %; tufs cristallino-vitreux, de 25 à 50 %; et tufs cristallins, lorsque la teneur en verre est inférieure à 25 %.

Les tufs présentent souvent une nette stratification ; mais ils diffèrent des dépôts de sédiments détritiques car leur stratification provient d'éruptions successives et non d'une action de classement opérée par les agents de transport : aucun classement n'est décelable dans les tufs. Le seul type de différenciation que l'on puisse rencontrer est lié au fait que ce sont les matériaux les plus grossiers donc les plus lourds qui tombent le plus près du conduit volcanique ayant émis des projections, les autres débris s'étageant sur une distance de plus en plus grande au fur et à mesure que leur masse diminue.

En outre, le vent transporte sur une plus grande distance les fragments vitreux, poreux, et laisse retomber plus vite les cristaux les plus denses ; cependant des changements dans la direction des vents peuvent créer d'importantes exceptions à cette règle.



C. Bevilacqua



Enfin, les tufs englobent des fragments plus gros, provenant de bombes volcaniques, et, souvent, des fossiles, dont l'importance est loin d'être négligeable ; en effet, ces fossiles, dérivés de fragments animaux et végétaux emprisonnés lors de la retombée du matériau volcanique, permettent de dater avec une remarquable précision les éruptions qui ont donné naissance aux tufs.

La structure caractéristique des tufs est la structure « cinéritique » ou « vitro-clastique ». Elle est déterminée par la fraction vitreuse, qui apparaît subdivisée en fragments allongés ou incurvés, parfois striés longitudinalement. Le verre volcanique basique est isotrope et incolore, le verre acide a une coloration variant du jaune pâle au brun. Les cristaux sont idiomorphes (de forme polyédrique naturelle) et l'on suppose qu'ils étaient déjà formés dans le magma, au moment de l'éruption. Par suite du violent refroidissement et des chocs subis, ils apparaissent fracturés, broyés, et souvent sur leur surface adhère une substance vitreuse. Les fragments de roche, moins fréquents que le verre et les cristaux, dérivent surtout de roches éruptives acides ou métamorphiques arrachées, durant l'éruption, aux parois et au fond du conduit volcanique.

Très souvent, les tufs apparaissent métamorphosés ; ceci est dû à leur porosité, donc à leur facilité d'absorber l'eau et les solutions, mais aussi, et surtout, à la nature, souvent instable, tant du verre volcanique que des cristaux présents dans la roche ; il s'agit, en effet, de composés formés à très haute température et soumis ensuite à un brusque refroidissement, les figeant dans des conditions physico-chimiques particulières. Un refroidissement lent aurait permis à ces substances de s'adapter progressivement aux conditions extérieures ; ceci n'ayant pas eu lieu, on peut observer que de nombreuses substances constituant ces roches ne sont pas stables à froid et tendent à se transformer dès que possible : ainsi l'altération des tufs s'accompagne souvent de la « dévitrification » des verres volcaniques.

Les tufs riches en feldspaths se transforment assez facilement en substances argileuses : ce phénomène s'accompagne d'un dépôt, dans leurs cavités, de silice hydratée, sous forme de calcédoine ou d'opale. Parfois, les tufs peuvent subir un processus de silicification plus profond et devenir compacts et semblables aux rhyolites ou aux jaspes.

Les tufs vitreux, acides ou basiques, sont caractérisés par la présence de très petits fragments de verre à arêtes coupantes, cimentés par un matériau vitreux. Très répandus, ils dérivent surtout du matériau volcanique qui obstruait la cheminée avant l'éruption : aussi les fragments ont-ils des formes et des dimensions irrégulières. Les verres basiques et les roches qui en dérivent sont très répandus, notamment dans les volcans des îles Hawaii ; l'écume des magmas basaltiques forme un verre particulièrement poreux, connu sous le nom de « réticulite ». Les tufs palagonitiques sont également remarquables par leur abondance en verres basiques (la « palagonite » provient de l'hydratation du verre basaltique primitif, appelé sidéromélane, qui est noir, brun foncé ou vert olive ; le nom de palagonite dérive de Palagonia, localité de Sicile) : ces tufs ont généralement une agréable couleur jaune or.

Les tufs cristallins sont formés essentiellement de lapilli cristallins, c'est-à-dire de cristaux qui, déjà présents dans le magma, ont été projetés au loin lors de l'éruption ; effectivement, certains lapilli sont des cristaux parfaitement reconnaissables d'augite, d'olivine, ou de leucite (tufs de Vésuve), rompus ou fracturés de différentes manières.

En Italie, les tufs sont très répandus, notamment dans les régions du Centre et du Sud, où les volcans, parmi lesquels certains sont encore en activité, sont nombreux.

En France, on rencontre en abondance des « pépérites » d'âge oligocène ; elles sont formées de granules de verre, dispersés dans un ciment calcaire. Elles ont pris naissance lorsque des laves encore en fusion sont arrivées au contact de boues calcaires sur les fonds de certains lacs.

En ce qui concerne les utilisations des tufs, on sait que, du fait de leur altérabilité, seuls les plus compacts et les plus résistants sont utilisés dans la construction. Bien que peu résistants, ils offrent certains avantages, comme celui de se laisser couper facilement. Ils conviennent tout spécialement pour la construction d'habitations dans les climats chauds, car ils conservent la chaleur en hiver et assurent une agréable fraîcheur l'été.

LES GRANITES

Roches d'origine profonde, riches en silice, les granites sont très abondants dans la croûte terrestre, où on les trouve en masses de très grandes dimensions, formant parfois de véritables massifs montagneux. Leurs caractéristiques minéralogiques et leur composition chimique varient peu, même lorsqu'il s'agit de granites provenant de régions fort éloignées les unes des autres. Matériaux de construction et de décoration remarquables, très abondants et d'un prix abordable, les granites offrent un grand intérêt.

D'origine italienne, le mot « granite » n'était pas employé par les Romains, qui appelaient « syénites » les roches granitiques égyptiennes, utilisées dès l'époque des pharaons. Ce mot d'ailleurs évoque l'aspect grenu de ces roches, qui, en effet, sont constituées de grains de minéraux de couleurs variées. Le langage courant comme le langage commercial, négligeant délibérément la composition chimique des roches d'aspect grenu, appellent granites toutes les roches d'origine profonde (souvent, d'ailleurs, les gabbros, les diabases et les anorthites sont appelés « granites noirs »). Toutefois, la plupart du temps les matériaux vendus sous ce nom sont de véritables granites.

STRUCTURE ET COMPOSITION DES GRANITES

Les granites sont constitués essentiellement de feldspaths (potassiques, sodipotassiques ou calcosodiques), de quartz, de quelques minéraux ferromagnésiens (micas, amphiboles, etc.) et d'un certain nombre de minéraux accessoires. On les classe en granites alcalins, lorsqu'ils contiennent uniquement des feldspaths alcalins (c'est-à-dire potassiques tels que le microcline ou sodiques tels que l'albite), et en granites calco-alcalins ou normaux lorsqu'ils contiennent aussi des plagioclases calcosodiques (oligoclase par exemple). Les granites normaux sont à leur tour subdivisés en plusieurs catégories.

Les granites sont généralement blancs ou tachés de gris sur fond blanc ; quelques-uns présentent une coloration rose ou rouge-brun, avec de petites taches noires, la coloration rose étant souvent due à la présence d'orthose teintée par de l'hématite. Les granites les plus répandus sont de teinte claire, la granulation étant très variable d'un type à l'autre. Du point de vue de la structure on distingue : la structure grenue normale où les différents grains minéraux ont sensiblement la même dimension (3 à 5 mm environ) ; la structure microgrenue avec des grains plus petits, si fins qu'ils sont parfois microscopiques ; la structure pegmatitique où les différents cristaux sont très développés (plusieurs dizaines de centimètres). Enfin, les granites présentent très souvent une structure porphyrique, dans laquelle les cristaux de feldspaths potassiques bien formés, ayant une taille de l'ordre de quelques centimètres, sont noyés dans une pâte de fond à grains beaucoup plus fins : un exemple particulier de cette structure est le granite de Port-d'Or dans les Pyrénées, qui présente des cristaux idiomorphes pouvant atteindre trente centimètres de longueur.

Une structure très remarquable bien que peu fréquente est celle du type « rapakivi » (du nom de la roche scandinave dans laquelle elle fut observée) : elle est caractérisée par la présence de gros cristaux de feldspaths de forme ovoïde présentant des zones concentriques roses au centre et pâles à la périphérie.

En ce qui concerne la composition chimique, les composants essentiels des granites sont le quartz, les feldspaths potassiques et les plagioclases, les micas, c'est-à-dire la biotite et la muscovite, plus rarement les amphiboles et les pyroxènes. Parmi les minéraux accessoires le plus

C. Bevilacqua



Une variété particulière de granite, la luxulyanite (Luxulyan, Cornouailles) ; dans cette lame mince, photographiée au microscope polarisant (18 × 5), on distingue les groupements très caractéristiques de cristaux rayonnants (musée d'Histoire naturelle de Milan).

souvent rencontrés citons la magnétite, le zircon, l'apatite et, moins fréquemment, la pyrite, la titanite, l'ilménite, des granules de tourmaline et certains minéraux d'origine pneumatolytique (c'est-à-dire des minéraux formés durant la phase ultime de la cristallisation du magma; ils sont riches en éléments volatils, tel est le cas de la topaze et de l'apatite). On constate souvent la présence de certains minéraux secondaires, comme la zoïsite, la clinozoïsite et la chlorite.

Les granites affectent dans la croûte terrestre pratiquement toutes les formes sous lesquelles peut se présenter un corps rocheux d'origine profonde. La forme la plus fréquente est le batholite : on qualifie ainsi une masse en forme de dôme recoupant comme à l'emporte-pièce les roches encaissantes; elle est enracinée en profondeur. Parmi les formes injectées, les filons-couches, les dykes, les apophyses et les laccolites sont très fréquents.

L'origine des granites fut l'un des problèmes les plus discutés de la pétrographie : de nombreuses hypothèses furent émises à ce sujet. Des tentatives de synthèse, couronnées de succès, permettent de penser aujourd'hui que dans de nombreux cas le granite est le terme ultime auquel aboutissent les sédiments argileux lorsqu'ils sont soumis à un métamorphisme très intense. Les opinions relatives à leur âge ont également évolué avec les progrès de la connaissance.

En effet, après avoir longtemps cru que les granites étaient les roches les plus anciennes du globe, on s'est aperçu qu'ils s'étaient formés à diverses périodes durant les temps géologiques, et que leur formation coïncidait avec les principales orogenèses (périodes d'édification des chaînes de montagnes). Cependant, les granites précambriens sont les plus nombreux et, d'après certains auteurs, représentent les neuf dixièmes des granites présents sur le globe.

PRINCIPAUX TYPES DE GRANITES

Les granites de la série normale, ou calco-alcalins, sont subdivisés en : granites hololeucocrates, *composés uniquement de quartz et de feldspaths;* granites à biotite, *très communs, ils sont roses ou bleuâtres;* granites à muscovite, *fortement alumineux;* granites à deux micas, *très répandus dans la nature. De plus on connaît des* granites à hornblende, *des* granites à diopside et à augite, *des* granites à hypersthène.

Les granites normaux sont les granites les plus répandus; parmi ceux-ci, les granites à un seul mica dominent nettement : le plus connu en Italie est celui de Baveno (lac Majeur), formé d'orthose rose, d'oligoclase blanc, de quartz incolore et de biotite noire qui donne à la roche une teinte gris rosé d'un effet très agréable et recherché. On l'extrait des flancs du mont Camoscio devenu célèbre par la découverte, dans ses grottes, de nombreux minéraux bien cristallisés, présentant un remarquable intérêt scientifique.

Parmi les granites connus, le granite rose d'Assouan était déjà employé dans l'Antiquité par les Égyptiens; il existe encore une ancienne carrière, où l'on peut voir un obélisque presque complètement détaché du reste de la roche, mais abandonné par suite d'une fracture. C'est de l'ancien nom de la ville d'Assouan, alors appelée Syène, que dérive le terme de syénite, utilisé dans l'Antiquité pour désigner le granite. Le granite fut aussi utilisé dans la construction des pyramides, en blocs de très grandes dimensions, magnifiquement équarris; les Romains en firent aussi un large usage.

On trouve de nombreuses roches granitiques en Europe : en Forêt-Noire, dans les Vosges, dans les Fichtelgebirge, en Écosse et en Scandinavie, d'où provient le « granite rouge de Suède ».

Les granites composés de deux micas sont moins abondants que les précédents : certaines variétés comme le granite de San Fedelino (composé de grains blancs et gris, assez foncé), près de Novate Mezzola en Lombardie, sont largement employées pour le pavage des routes.

On rencontre aussi en Bretagne un granite renfermant des cristaux microscopiques de cordiérite; c'est le granite d'Huelgoat. Ce même minéral constituant des nodules apparaît dans le granite des Cévennes.

Les granites amphiboliques sont plus rares; ils constituent une phase de transition vers les diorites; c'est à ce type que se rattache la variété rapakivi.

Les granites pyroxéniques sont très rares; on en connaît des affleurements en Russie (dans l'Oural), dans les Vosges et dans le Harz. Des granites contenant de l'hypersthène existent en Norvège et près de Madras, en Inde.

Bien qu'ils soient moins répandus que les granites normaux, on trouve des granites alcalins, en quantités considérables, dans le massif du Pelvoux (Dauphiné) et en Corse. Ils sont également abondants dans le sud de la Norvège, en Afrique septentrionale et orientale, à Madagascar et dans certains États des U.S.A.

Un granite particulier est la luxulyanite, provenant de Cornouailles; il est très riche en tourmaline, associé à la cassitérite, à la topaze et à la wolframite, minéraux qui sont tous d'origine pneumatolytique.

Il convient de mentionner aussi le greisen, que l'on trouve dans l'Erzgebirge de Saxe-Bohême, et qui est formé presque exclusivement de quartz et de mica, tandis que le feldspath, qui s'y trouvait à l'origine, a subi des actions pneumatolytiques qui l'ont transformé en muscovite et en mica fluoré; ce dernier aussi contient de la topaze, de la wolframite, de la cassitérite, de la tourmaline, de la fluorite, de l'apatite et du rutile, tous d'origine pneumatolytique.

UTILISATIONS DU GRANITE

Les multiples avantages qu'ils présentent : compacité, résistance aux agents atmosphériques, faible perméabilité à l'eau, très grande longévité, auxquels s'ajoute la beauté des diverses variétés, font que les granites sont extraits et utilisés depuis des temps très anciens tant pour la construction et le pavage, que pour la décoration, puisqu'ils se laissent facilement couper en plaques et polir.

D'ailleurs l'existence en de nombreux endroits de très grosses masses de granite permet l'extraction de blocs immenses, susceptibles de satisfaire à toutes les exigences architecturales.

C. Bevilacqua

Obélisque taillé dans les carrières de granite d'Assouan (Égypte); ce grand monolithe est resté inachevé à cause de la présence d'une fracture.

LES CALCAIRES FOSSILIFÈRES

Parmi les nombreuses roches calcaires présentes dans la croûte terrestre, une place très importante est occupée par les calcaires fossilifères ou « organogènes », formés sous l'action d'êtres vivants ou par suite de l'accumulation d'organismes animaux et végétaux. De tels calcaires se forment encore de nos jours, surtout dans les mers tropicales, où prospèrent des colonies de coraux de dimensions considérables. Dans le langage courant et commercial, on les désigne aussi sous le nom de marbres.

Les organismes vivants jouent un rôle de tout premier plan dans la formation de ces roches : par leur présence, ils provoquent la précipitation de différents sels dissous dans l'eau — carbonates de calcium et de magnésium, sulfate et phosphate de calcium — sels qu'ils fixent dans leurs carapaces ou leurs coquilles. Dans les mers chaudes, ces phénomènes sont encore plus actifs ; à cause de la température, ces eaux sont appauvries en carbonate de calcium et plus riches en sulfate de calcium.

Les organismes responsables de la fixation du carbonate de calcium sont, par ordre d'importance : les algues calcaires, les Foraminifères, certains Mollusques, les Coraux, les Échinodermes, les Éponges, les Crustacés, les Annélides et les Bryozoaires.

Quant à la précipitation du carbonate de calcium, elle est souvent imputable aux nombreuses algues vertes, qui, en absorbant au cours de leurs processus vitaux le dioxyde de carbone dissous dans les eaux, provoquent une diminution de la solubilité du carbonate de calcium. Le carbonate de magnésium, plus soluble que le précédent, ne précipite qu'en faibles quantités.

On peut diviser les calcaires d'origine organogène en plusieurs groupes, en fonction des conditions de formation et des processus subis ultérieurement.

CALCAIRES RÉCIFAUX

Ils proviennent directement de l'activité d'organismes, tels que les coraux, qui vivent en colonie et sécrètent des édifices tenant lieu tout à la fois de squelette et d'habitat. Il s'agit, en général, d'ouvrages formés à la base d'un « noyau » d'une autre roche, sur lequel les organismes marins se sont fixés ; cette roche est constituée de différentes couches de matériau poreux et stratifié, provenant en partie de la démolition, sous l'action des eaux, de sa propre masse.

Les calcaires récifaux sont donc caractérisés par un échafaudage de squelettes calcaires, dont les vides ont été remplis par de la calcite fibreuse ou concrétionnée, au sein de laquelle on trouve souvent des fossiles isolés. Un exemple imposant de récifs est celui de la Grande Barrière corallienne au large des côtes australiennes.

Les calcaires récifaux, poreux à l'origine, peuvent le devenir davantage par suite de la dissolution d'une partie des squelettes (formés d'aragonite) sous l'action de la turbulence des eaux. En raison de cette structure poreuse, mais aussi de la grande quantité de matière organique qu'ils ont contenue, ces calcaires constituent un terrain favorable à l'accumulation d'hydrocarbures, d'asphaltes, de bitumes, etc. Ils sont utilisés comme pierres ornementales, dénommées « pierres coralliennes » ou « pierres étoilées », car elles se présentent avec un fond clair portant des taches jaunes en forme d'étoiles, dues aux anciennes colonies coralliennes.

C. Bevilacqua



Parmi les calcaires fossilifères, un intérêt scientifique considérable s'attache aux calcaires qui présentent des empreintes complètes de grandes dimensions, très appréciés pour leur valeur décorative (musée d'Histoire naturelle de Milan).



C. Bevilacqua

CALCAIRES DE BIOSTROME OU LUMACHELLE

On appelle biostromes des roches calcaires, plus ou moins dolomitisées, qui se distinguent des précédentes par des squelettes d'organismes non organisés en colonies (bien qu'il s'agisse le plus souvent d'organismes sédentaires), et par leur structure en strates superposées. La stratification est généralement peu marquée, en raison de la porosité de la roche et de la présence de vides clastiques.

Les calcaires de biostrome présentent des types très variables tant par leurs structures que par la diversité des organismes qui ont contribué à leur formation et que l'on retrouve à l'état fossile.

Un premier type est caractérisé par l'abondance de coquilles de Mollusques ; à cause de cela, on l'appelle calcaire « coquillier » ou « lumachelle ». Il s'agit souvent de Mollusques assez gros (des huîtres par exemple), cimentés par des fragments plus petits de coquilles calcaires. Ce type de roche est généralement dur, bien que poreux. Une variété très grossière que l'on trouve en Provence est la roche « à Rudistes », c'est-à-dire formée des restes de grands Lamellibranches qui proliférèrent au Crétacé ; cette roche est parfois considérée comme un calcaire de bioherme.

D'autres calcaires sont assez répandus, tels les calcaires à Ammonites et à Trilobites et les calcaires à encrines, dont le grain est très grossier, puisque les plaques de Crinoïdes (de l'embranchement des Échinodermes), assez épaisses, ne laissent que peu de place pour les sédimentations plus fines.

LES CALCAIRES PÉLAGIQUES

Ces calcaires sont eux aussi constitués de squelettes fossiles (partiellement redissous dans les eaux) d'organismes marins, comme les Foraminifères, les algues planctoniques et les Céphalopodes. Ils comprennent essentiellement des fossiles de petite taille. Ils ne sont pas très répandus et sont caractéristiques des mers profondes.

AUTRES CALCAIRES FOSSILIFÈRES

La craie est un calcaire blanc ou jaunâtre, souvent farineux, au grain fin et uniforme, entrecoupé de fossiles. Elle n'a pas subi de modification sous l'action des eaux, puisqu'elle a précipité sous forme de calcite et non d'aragonite, plus soluble. La craie est composée d'une fraction organogène constituée de plaquettes microscopiques qui formaient le test (carapace) de petits organismes ayant proliféré dans les mers crétacées (il s'agit de coccolithophoridés) ; ces éléments constituent la quasi-totalité de la roche ; il s'y ajoute des spicules d'éponges siliceuses, des rognons de silex et des minéraux détritiques.

C'est une roche très répandue dans le Bassin parisien (Champagne) et dans les îles Britanniques ; elle est utilisée industriellement pour le nettoyage des métaux et du verre « blanc d'Espagne » et pour la fabrication de petits bâtonnets utilisés par les écoliers.

Les calcaires sapropéliques et carbonés sont imprégnés de matériaux organiques divers (connus sous le nom de sapropèle), qui se sont déposés sur les fonds des lacs et des mers intérieures, aux eaux peu turbulentes. Ils contiennent souvent des traces de fossiles divers et présentent une coloration noirâtre (pâlissant à l'air) sur les surfaces fraîchement cassées.

Les calcaires carbonés, noirs, pulvérulents, rappellent les précédents, mais contiennent aussi de la pyrite, ce minéral étant caractéristique des milieux sédimentaires réducteurs.

Les calcaires bitumineux, habituellement noirâtres, sont riches en hydrocarbures denses, provenant probablement de la dégradation de matériaux organiques. Sous l'effet d'un choc, ils dégagent une odeur désagréable.

L'imprégnation est parfois particulièrement forte ; on trouve ainsi en divers lieux des gisements de calcaires bitumineux d'une certaine importance, du point de vue industriel, puisqu'on peut en tirer par distillation des hydrocarbures.

Les calcaires lacustres sont des roches assez peu répandues ; pauvres en argile et en matériaux clastiques (c'est-à-dire provenant des débris de roches préexistantes), ils contiennent un petit nombre d'organismes : algues, Gastéropodes et Ostracodes. Souvent, on y trouve des algues entières fossilisées, ayant échappé à l'action de démolition due au transport par les eaux. Les calcaires lacustres à Ostracodes présentent un certain développement, leur structure est variable, puisque les modes de fossilisation de ces organismes ont été nombreux. Il existe enfin quelques calcaires lacustres dont la structure est très fine, ils proviennent probablement de la précipitation physico-chimique du carbonate de calcium.

Un autre type de calcaire apparaît comme un terme de transition entre les roches d'origine chimique ou biochimique et celles d'origine détritique. Il s'agit de sédiments constitués de matériaux provenant de la démolition de roches préexistantes dont les fragments ont été mélangés avec du calcaire résultant de la précipitation du carbonate de calcium, dissous dans les eaux marines, qui forme un ciment ; ces calcaires contiennent aussi des fossiles. Nous en rappellerons les principales subdivisions, fondées sur les dimensions des fragments calcaires. Les calcaires bréchiques sont des roches détritiques, formées à plus de 50 % de fragments d'un diamètre supérieur à 2 mm. Il existe ainsi des calcaires bréchiques d'origine organique, appelés « coquines » : ils proviennent de la démolition de récifs formés de coraux et d'algues et soumis à un transport plus ou moins long. La « coquine » est utilisée, notamment en Amérique centrale, comme pierre de construction, lorsque les fragments sont bien cimentés et la roche compacte.

Les calcarenites sont constituées, pour au moins 50 % de leur masse, de fragments d'un diamètre compris entre 1/10 de mm et 2 mm ; ils sont essentiellement formés de sables calcaires. Les calcarénites provenant de calcaires organogènes sont appelées « biocalcarénites » ; les plus importantes sont les calcarénites oolithiques, caractéristiques des mers chaudes, peu profondes et peu agitées. Toutes les calcarénites sont associées à des grès quartzeux. Les calcaires microgranuleux ont un grain très fin : ils résultent de la consolidation de boues calcaires, d'origine, pense-t-on, bactérienne, ou provenant de la démolition de fossiles de plus grandes dimensions. Une variété très connue est le calcaire lithographique de Solenhofen (Bavière), de couleur gris jaunâtre, utilisé encore aujourd'hui pour les estampes lithographiques de qualité.

Ainsi les calcaires fossilifères peuvent servir de pierres de construction car ils se laissent tailler et polir aisément. Ils sont, en outre, très utilisés dans les cimenteries. Ils sont enfin très recherchés en décoration pour leurs couleurs belles et variées et leurs motifs rendus originaux par les restes fossiles.

C. Bevilacqua

Les calcaires sont facilement attaqués par les acides, notamment par l'acide chlorhydrique, donnant lieu à un phénomène d'effervescence, caractérisé par la formation de petites bulles d'anhydride carbonique, comme on le voit sur le calcaire saccharoïde (photo du haut). Ci-contre : un bel exemple de calcaire portant des empreintes fossiles de coquilles (musée d'Histoire naturelle de Milan).

LA CHAUX ET LE GYPSE

La chaux (produite par calcination du calcaire) et le plâtre (obtenu par chauffage modéré du gypse) sont des matériaux très importants dans l'industrie du bâtiment; aussi sont-ils produits en très grande quantité. L'une et l'autre de ces substances sont des composés du calcium.

Très répandu dans la nature, le calcium se trouve essentiellement sous forme de silicates; mais il peut aussi se présenter sous forme de sulfates plus ou moins hydratés, ou donner lieu à la formation de grandes masses de roche calcaire, qui constituent parfois de véritables chaînes montagneuses. Les Dolomites, qui sont formées de carbonates de calcium et de magnésium, ainsi que les Alpes Apuanes, où on trouve de grandes quantités de carbonates de calcium pratiquement purs et microcristallins, en fournissent deux exemples.

Lorsqu'il se présente ainsi, le carbonate de calcium est utilisé directement comme pierre de construction ou comme matériau de décoration (marbre blanc de Carrare).

Pour obtenir la chaux, on utilise des calcaires moins purs, qui contiennent souvent de petites quantités de magnésium et de fer; des calcaires de ce type existent en grande quantité à la surface de la Terre, ce qui rend leur extraction aisée et peu coûteuse.

Le gypse est un sulfate de chaux qui renferme de l'eau. S'il existe de nombreux petits gisements, il en est, par ailleurs, de très importants, où le gypse est souvent présent en même temps que d'autres sels et du soufre. Puisque le sulfate de calcium est l'un des sels contenus en solution dans l'eau de mer (bien que dans une proportion inférieure à celle du chlorure de sodium), on est conduit à penser que ces gisements proviennent de l'évaporation ayant affecté d'anciens bassins fermés, qui contenaient des eaux fortement chargées en sels.

LA CHAUX

On utilise, pour produire de la chaux, des calcaires impurs peu aptes à fournir des matériaux de construction tant à cause de leur friabilité que de leur aspect.

Le calcaire est traité dans des fours spéciaux, appelés « fours à chaux », construits de manière à permettre un traitement du matériau en continu et souvent même la récupération des gaz de combustion. Ces fours sont généralement assez grands : huit à dix mètres de hauteur et deux à trois mètres et demi dans leur partie la plus large. Le matériau brut, après avoir été concassé, est introduit par le haut en même temps que le charbon : la chaux est extraite à la partie inférieure du four.

Le charbon, en brûlant, se transforme en produits gazeux et en chaleur qui décomposent le carbonate de calcium pour former de l'oxyde de calcium, c'est-à-dire de la « chaux vive » qui se présente comme un solide blanc et compact.

Cette réaction est commune à de nombreux carbonates, mais elle se produit à des températures variables, dépendant de la nature des éléments qui constituent ces composés. Dans un four à chaux, le charbon remplit un double rôle : d'une part, sa combustion permet d'obtenir l'élévation de température nécessaire, d'autre part, il est à même de réagir avec l'anhydride de carbone qui provient de la décomposition de carbonate.

En effet, la réaction de dissociation est la suivante :

$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2 \nearrow ;$$

tandis que le charbon réagit avec l'anhydride carbonique conformément à l'équation :

$$C + CO_2 \rightarrow 2\ CO.$$

P. Martini



Un four à chaux d'autrefois; aujourd'hui, la chaux est préparée selon des techniques totalement différentes, mais toujours à partir des mêmes roches.

En additionnant membre à membre ces deux réactions, on obtient la réaction globale qui se produit dans un four à chaux, soit :

$$CaCO_3 + 2\ C \rightarrow CaO + 2\ CO\nearrow.$$

La chaux vive ainsi obtenue est plus ou moins pure : cela dépend du matériau brut dont elle provient. Comme elle fond à une température très élevée, elle peut être utilisée comme matériau réfractaire, c'est-à-dire capable de résister à la chaleur; c'est ainsi qu'on s'en sert pour réaliser les revêtements de fours sidérurgiques (revêtements basiques).

Toutefois, au contact de l'air, la chaux tend à absorber de l'anhydride carbonique et même l'humidité atmosphérique, de ce fait elle se désagrège lentement, en formant une très fine poussière. C'est pour cela qu'on utilise de préférence comme matériau réfractaire la dolomite « cuite », mélange d'oxydes de calcium et de magnésium qui se désagrège moins facilement à l'air; mais en revanche, ce produit n'est pas apte à remplir le même rôle que la chaux dans la construction.

En dehors de son emploi en tant que réfractaire, la chaux est très largement utilisée dans le bâtiment et dans l'industrie chimique; dans ces deux cas, elle est employée sous forme de chaux « éteinte »; on appelle ainsi l'hydroxyde de calcium, obtenu en traitant la chaux vive par l'eau, selon la réaction :

$$CaO + H_2O \rightarrow Ca\ (OH)_2.$$

Cette réaction se produit avec un fort dégagement de chaleur.

La « chaux éteinte » est très peu soluble dans l'eau. Du point de vue chimique, elle donne une réaction fortement basique. Elle est souvent utilisée, dans l'industrie et dans l'agriculture, sous forme d'une suspension aqueuse, appelée « lait de chaux » en raison de son aspect trouble et de sa couleur blanchâtre. La chaux éteinte représente la base la moins chère, ce qui explique son très large emploi en chimie.

Dans le bâtiment, la chaux, éteinte et mélangée intimement au sable, donne un mortier, que l'on utilise pour assurer la cohésion des pierres et des briques dans les ouvrages maçonnés. L'emploi du mortier de chaux est très ancien et remonte sans doute aux Romains, qui étaient passés maîtres dans la construction d'édifices en briques.

Après sa mise en œuvre, le mortier durcit en un temps variable; en réalité, bien que le mortier soit déjà remarquablement dur au bout de quelques jours, la période de durcissement se prolonge pendant un temps très long Ce phénomène, appelé « prise », est d'autant plus marque que le mur est plus ancien.

Chimiquement, la prise correspond à la réaction qui s'effectue entre la chaux éteinte et l'anhydride carbonique présent dans l'air, avec élimination d'eau :

$$Ca\ (OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O.$$

Cela explique pourquoi l'humidité suinte des murs récemment bâtis.

La chaux qui contient de l'oxyde de magnésium (c'est-à-dire qui provient de la cuisson de la dolomie) est appelée « chaux maigre » (par opposition à la « chaux grasse » formée d'oxyde de calcium presque pur); elle s'éteint plus difficilement et est moins adaptée aux ouvrages de maçonnerie.

Enfin, en faisant cuire des marnes plutôt que des calcaires, on obtient un type particulier de chaux, capable de faire prise même sous l'eau : c'est la « chaux hydraulique », proche du ciment par sa composition, mais plus riche en oxyde de calcium.

LE GYPSE

Le gypse, ou sulfate de calcium bihydraté :

$$CaSO_4,\ 2\ H_2O,$$

se rencontre dans la nature, comme nous l'avons vu, en gisements bien localisés, souvent très étendus; en outre, il existe de nombreux terrains riches en gypse qui apparaissent presque blancs. La variété limpide de gypse (dont les plus beaux cristaux sont maclés en fer de lance ou en queue d'aronde) était anciennement appelée sélénite; on trouve aussi à l'état naturel du sulfate de calcium anhydre, appelé anhydrite ($CaSO_4$). L'albâtre gypseux, translucide, est utilisé comme pierre ornementale.

Par chauffage, le gypse perd une partie de son eau et se transforme en plâtre; à environ 120 °C, il perd une seule molécule d'eau pour donner le semi-hydrate; à une température un peu plus élevée, il se transforme en anhydrite. En chauffant davantage, c'est-à-dire au-delà de 500 °C, on obtient une forme d'anhydrite appelée « plâtre calciné », incapable de se réhydrater.

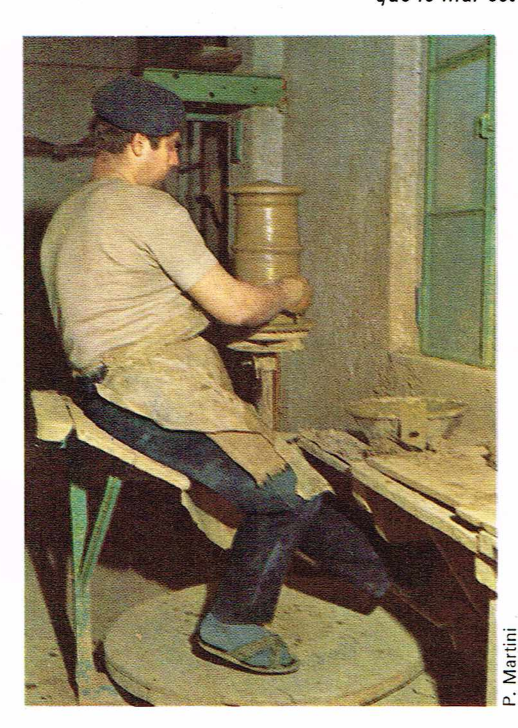
Le semi-hydrate et l'anhydrite trouvent des emplois dans le bâtiment et dans la statuaire; en présence d'eau, ils se réhydratent rapidement et durcissent en conservant la forme qu'on leur a donnée. Certaines qualités de plâtre font prise en un peu plus d'une demi-heure.

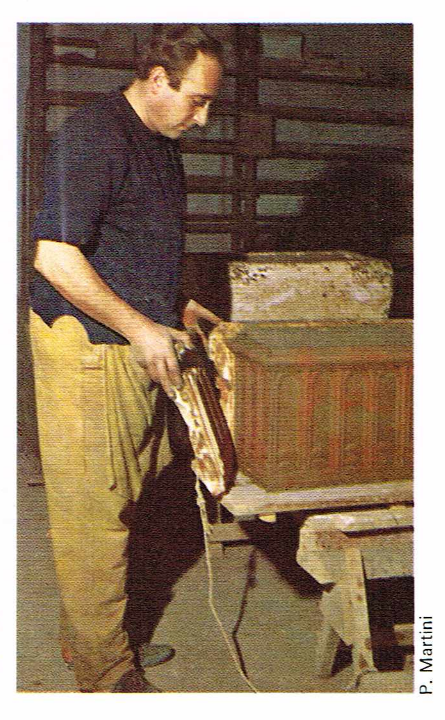
La production de plâtre est essentielle et ne cesse de se développer, en raison de l'extension croissante des emplois de ce matériau. Ainsi, en chauffant l'anhydrite à plus de 1 000 degrés Celsius, il perd une partie de son anhydride sulfurique (SO_3) et se transforme en un anhydrite basique capable de faire prise, ce qui permet de l'utiliser comme matériau pour dallage, soit sous forme de « plâtre à daller », résistant aux agents atmosphériques, soit comme sous-couche pour la pose de revêtements de sols.

Le gypse, chauffé dans des fours spéciaux avec la silice, donne un silicate de calcium qui trouve des applications dans l'industrie du ciment. En effet, on assiste à une généralisation de l'emploi de ce produit comme ralentisseur de prise dans les ciments; l'intérêt d'obtenir un ralentissement de la prise réside dans le fait que ce phénomène s'accompagne d'un intense dégagement de chaleur, susceptible de compromettre la solidité de certains grands ouvrages de béton, comme les barrages, en provoquant l'apparition de fissures.

Enfin, un type d'anhydrite capable d'absorber l'humidité est utilisé en granulés comme déshydratant bon marché pour les gaz contenant des traces d'humidité. Il est généralement additionné de petites quantités de chlorure de cobalt, ce corps ayant la propriété d'être bleu lorsqu'il ne contient pas d'eau et rose lorsqu'il est hydraté; il constitue donc un excellent indicateur en permettant d'évaluer l'efficacité du déshydratant.

Le plâtre est très largement utilisé dans la fabrication, par moulage, de petits objets décoratifs, tels que des statuettes. Il connaît aussi certains emplois particuliers, surtout en œnologie pour acidifier les vins.


P. Martini


P. Martini

A gauche : le plâtre est utilisé par les céramistes pour la fabrication de moules; l'illustration montre un tour de potier. A droite : un moule en plâtre pour la fabrication de vases en terre cuite.

L'AMIANTE ET LES MICAS

Les micas et l'amiante sont des minéraux intéressants non seulement en raison de leur abondance dans la nature (les micas sont les composants accessoires de nombreuses roches, tandis que l'amiante est relativement plus rare), mais aussi parce qu'ils illustrent parfaitement l'influence que peut avoir la structure des minéraux sur leurs propriétés (c'est-à-dire le mode d'arrangement des atomes).

Voici quelques décennies encore, ils étaient considérés comme des curiosités naturelles sans grand intérêt pratique. Aujourd'hui, grâce aux progrès de la science et de la technique, on a su leur trouver des applications nombreuses et souvent insoupçonnées, conséquence directe des propriétés que leur confère leur structure : il s'agit, pour les micas, de la facilité avec laquelle ils se clivent en plaques, d'assez grandes dimensions, et pour l'amiante, de sa nature fibreuse.

L'AMIANTE

On appelle ainsi une variété fibreuse de serpentine, connue aussi sous le nom d'asbeste. La serpentine comprend un ensemble de silicates, antigorite et chrysotile surtout, souvent associés, qui possèdent des propriétés analogues, bien que le premier soit de structure lamellaire et le deuxième typiquement fibreux. L'amiante proprement dit est une variété de chrysotile, à fibres très longues ; c'est un inosilicate, c'est-à-dire qu'il possède une structure formée par des rangées de tétraèdres, chacun d'entre eux comportant un atome de silicium en son centre et quatre atomes d'oxygène disposés à ses sommets.

C'est à cette disposition des tétraèdres, formant des chaînes parallèles, qu'est dû le caractère fibreux du chrysotile. Les fibres atteignent souvent une longueur de plusieurs décimètres ; très flexibles, elles peuvent être tissées.

La formule chimique du chrysotile est $Mg_6(OH)_8Si_4O_{10}$ *; assez souvent, le magnésium est partiellement remplacé par de petites quantités de fer ou de nickel. Sa dureté, variable de 2,5 à 5, est le plus souvent voisine de 4 ; dans les variétés fibreuses, le poids spécifique est d'environ 2,2. En général, la couleur de l'amiante (on précise « amiante de serpentine », pour ne pas le confondre avec une variété moins répandue et de composition différente) est blanche avec de légers reflets verdâtres. L'amiante est infusible à la flamme ; mais il est attaqué par l'acide chlorhydrique concentré. Son importance industrielle découle essentiellement du fait que ses fibres, flexibles, peuvent être tissées, ce qui permet la confection de tissus incombustibles et isolants utilisés pour fabriquer des gants et des combinaisons de protection. Il entre en outre dans la fabrication de matériaux divers, tels que l'amiante-ciment que l'on façonne en tubes et en plaques, planes ou ondulées, qui sont employées dans le bâtiment, pour réaliser des couvertures, des cloisons et des gaines. L'amiante est également utilisé dans l'industrie automobile pour réaliser certains éléments des systèmes de freinage.*

Les gisements d'amiante exploités industriellement sont nombreux : la province du Québec, au Canada (Sherbrooke, Thedford Mines et Black Lake), fournit la plus grande partie de la production mondiale, puis viennent l'U.R.S.S. (dans l'Oural), la République sud-africaine et certains États des U.S.A. L'Italie possède aussi quelques gisements d'amiante ; certains, ceux de Balangero dans le Piémont, fournissent un matériau à fibres trop courtes pour être tissé. En revanche, on trouve de l'amiante à fibres longues dans les serpentines du Val Malenco et du Val Lanterna, près de Sondrio, où le minéral est contenu dans des lithoclases (fentes dans la roche) de puissance (c'est-à-dire d'épaisseur) et d'extension variables.

Il existe une deuxième variété d'amiante, connue sous le nom d' « amiante d'amphibole » ou « amiante bleu du Cap » (l'Afrique du Sud possédant de vastes gisements). Il s'agit d'une variété fibreuse de riebeckite, appelée crocidolite : c'est un silicate de sodium et de fer. Elle se distingue de l'amiante de serpentine par ses caractéristiques optiques et aussi par le fait que, ne contenant pas d'ions oxhydryles, elle ne perd pas de poids au chauffage.

Une importante carrière d'amiante (Blue Asbestos Pty. Ltd.) en Australie occidentale.

Bavestrelli - Bevilacqua - Prato

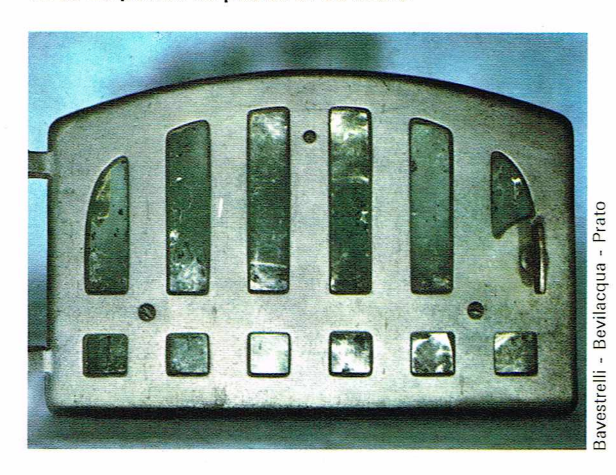




Bavestrelli - Bevilacqua - Prato

Échantillon de mica : muscovite. Érythrée (musée d'Histoire naturelle de Milan).

Les lames transparentes et incombustibles de mica sont utilisées, entre autres, pour fabriquer des garnitures de portes de poêles et de fours.



Bavestrelli - Bevilacqua - Prato

LES MICAS

Ce groupe comprend un assez grand nombre de minéraux qui constituent les composants accessoires de certaines roches, comme les granites, qui peuvent contenir un ou deux micas (biotite et muscovite), et les micaschistes, où ils sont plus importants. Dans les granites, les micas apparaissent sous forme de grains de teinte foncée aux reflets très vifs ; ainsi la biotite se présente souvent sous forme de petites taches presque noires.

Les micas sont des phyllosilicates d'aluminium et de métaux alcalins (lithium, sodium et potassium), de magnésium et de fer ; ils contiennent souvent des groupes oxhydryles (OH) et des anions de fluor (F). Leur structure est caractérisée par la juxtaposition de feuillets parallèles, constitués d'un assemblage plan de tétraèdres formés d'atomes de silicium et d'atomes d'oxygène. Les différentes couches de tétraèdres sont reliées entre elles par des liaisons bien moins fortes que celles qui s'exercent, dans un même feuillet, entre les tétraèdres placés sur le même plan. Par conséquent, les micas se présentent en lamelles ou en empilements de lamelles, et manifestent une nette tendance à se laisser cliver.

Les micas cristallisent dans le système monoclinique en formant des cristaux lamellaires. Ces lamelles, de forme hexagonale, sont parfois empilées les unes sur les autres, et prennent l'aspect de cristaux prismatiques hexagonaux aux contours souvent irréguliers. Néanmoins, la technique des « figures de percussion » nous montre que leur symétrie véritable n'est pas hexagonale : en effet si l'on place sur une lamelle de mica une pointe en acier chargée d'une certaine masse, on voit se former une sorte d'étoile caractéristique, formée de six segments issus du même point ; elle ne possède pas une symétrie hexagonale vraie, puisque deux de ses rayons (les deux opposés) sont plus longs que les quatre autres. Ce test confirme la symétrie monoclinique, pseudo-hexagonale, de ces minéraux.

Les dimensions des lamelles varient de quelques centièmes de millimètre à plus d'un mètre de « diamètre » ; ces dernières étant les plus recherchées sur le plan technologique.

Les micas sont classés en plusieurs groupes. En fonction des éléments chimiques qu'ils contiennent, on distingue :

— le groupe (ou la série) de la muscovite (dit également : groupe des micas alumino-potassiques) comprenant : la paragonite (qui contient du sodium), la muscovite (contenant du potassium), la margarite (qui est calcique), l'éphésite (renfermant du sodium et du calcium) et la roscoélite (qui est potassique et dans laquelle l'aluminium est remplacé par le vanadium). Tous contiennent des groupes oxhydryles. A ce groupe appartient aussi la glauconite ;

— le groupe (ou la série) de la biotite qui comprend la phlogopite, la biotite, la sidérophyllite, le lépidolite (ce dernier contient du lithium, qui est un élément assez rare dans la nature), la zinnwaldite, la seybertite et le lépidomélane. Ces minéraux forment le groupe des micas ferro-magnésiens.

Il existe un autre groupe de minéraux que l'on appelle à tort « micas » : ce sont des minéraux radioactifs, qui comportent principalement des phosphates et des arséniates d'uranium, d'origine secondaire (c'est-à-dire provenant de l'altération d'autres minéraux). Ils sont caractérisés par une structure lamellaire rappelant celle des micas. Les principaux représentants de ce groupe sont l'autunite et la torbernite ; ceux-ci, lorsqu'ils se trouvent en concentrations suffisantes, peuvent constituer d'intéressants minerais d'uranium.

Les micas abondent dans de nombreuses roches magmatiques, sédimentaires (muscovite presque uniquement) et métamorphiques de la lithosphère. Ils sont particulièrement fréquents dans les pegmatites (roches qui se sont formées à un stade particulier de la consolidation des magmas granitiques) ; c'est dans ces roches qu'on trouve les cristaux les plus gros ; leur taille peut atteindre plusieurs décimètres carrés. Si de tels cristaux ont pu se former, c'est grâce aux conditions physiques et chimiques réalisées lors de la mise en place et du refroidissement de ces roches, et notamment à l'action de vapeurs fortement chargées en éléments chimiques volatils tels que le fluor et l'eau.

L'étude du mode de formation de ces minéraux dans la nature a conduit à la synthèse d'un type de mica, la phlogopite, que l'on est capable d'obtenir en lames de plus de 100 cm^2.

Les emplois des micas sont étroitement liés à leur structure cristalline et à leur composition chimique : on les utilise pour protéger les cadrans d'instruments scientifiques. Leur dureté est très faible, au point qu'ils peuvent être rayés à l'ongle ; ils ont un poids spécifique toujours inférieur à 3 et des teintes variables selon leur composition chimique. On connaît en effet des micas incolores et transparents (propriété qui est commune à tous lorsqu'ils sont en lames très minces), des micas de teinte jaune clair, brune, verte, rose, et même noire.

Ils résistent remarquablement à la chaleur, ce qui permet de les utiliser pour faire des fenêtres dans les portes des fours ; ils sont, en outre, de très bons isolants électriques.

Bien que ces minéraux soient répandus, les gisements exploitables, contenant des cristaux de taille suffisante, sont peu nombreux. Les principaux se trouvent dans les massifs pegmatitiques, où le magma granitique constitue des filons : les roches de Vohitrosi, dans l'île de Madagascar, contiennent de la phlogopite en quantité et sont, de ce fait, très exploitées.

La muscovite, importante par ses propriétés d'isolant électrique, est extraite surtout en Sibérie, en Australie, en Inde, en Afrique, à Madagascar, aux États-Unis et au Canada.

Le lépidolite est aussi un mica très important ; il constitue l'un des minerais de lithium les plus souvent exploités pour l'extraction de ce métal alcalin fort rare.

On en trouve dans l'île d'Elbe.

LES ARGILES

On appelle communément « argiles » des roches plastiques, se laissant facilement modeler lorsqu'elles sont mouillées. Il s'agit, en général, de roches riches en minéraux argileux et pauvres en calcaires. Les géologues, cependant, rassemblent sous le nom générique d'« argile » différentes espèces minérales présentant, entre elles, des analogies structurales et chimiques qui confèrent à ces substances des propriétés similaires.

Les roches composées essentiellement de minéraux argileux peuvent être classées en deux groupes selon qu'elles sont meubles ou consolidées. En effet lorsque les minéraux argileux se forment, on a affaire à des fragments de très petite taille. Ces éléments sont susceptibles de subir un transport et une accumulation sous l'action du vent ou des eaux sans qu'intervienne aucun phénomène de cimentation. Cependant des transformations peuvent intervenir ultérieurement : c'est ainsi que certaines roches argileuses, qui ont subi des processus métamorphiques, deviennent compactes et schisteuses et se laissent facilement cliver en lames; on les appelle « schistes argileux ».

Il existe en outre des roches argileuses qui contiennent une certaine proportion de calcaire; selon le pourcentage de carbonate, on les appelle argiles marneuses, marnes, marnes calcaires et calcaires marneux. *Elles trouvent d'importantes applications dans l'industrie du ciment.*

De nombreuses roches argileuses renferment des impuretés d'un grand intérêt; par exemple, certains schistes argileux présentent une proportion considérable de substances utiles (hydrocarbures); des argiles contiennent des pourcentages élevés d'oxydes de fer (latérites); d'autres, pour des motifs divers, se sont enrichies en alumines et constituent des dépôts d'aluminium exploitables industriellement : ce sont les bauxites.

Les propriétés chimiques et physiques des argiles dépendent essentiellement des minéraux argileux et éventuellement des impuretés qu'elles contiennent; elles peuvent aussi varier avec la granulométrie (c'est-à-dire la dimension des grains) du matériau, généralement très fine, puisque les particules argileuses ont une taille de l'ordre de quelques millièmes de millimètre.

Les argiles proviennent de l'altération des feldspaths qui constituent une large part des différentes roches d'origine profonde, et qui sont très facilement transformés : soit sous l'action de facteurs climatiques (quand les roches qui les contiennent sont proches de la surface du sol), soit en profondeur, sous l'action de solutions chaudes issues des magmas. De ce fait, les argiles peuvent contenir des impuretés provenant des roches qui leur ont donné naissance. Les plus importantes de ces impuretés sont : le quartz, l'opale (silice amorphe) et la calcédoine (silice cristallisée), la calcite, le gypse, l'anhydrite, le sel gemme, la pyrite, la marcassite, les feldspaths et les micas.

L'étude physico-chimique des argiles s'est révélée particulièrement difficile, de même que l'étude purement minéralogique et pétrographique, les granules étant de très petite dimension et intimement mélangés. Leur structure et leurs propriétés n'ont pu être mises en évidence que grâce aux rayons X et à deux méthodes particulières qui sont : l'analyse thermique différentielle et l'analyse thermo-pondérale.

Dans la première on mesure en continu la température de l'échantillon placé dans un four dont la température croît régulièrement. Cette méthode permet de repérer des anomalies thermiques qui accompagnent des transformations de structure; la seconde méthode permet d'enregistrer les variations de masse que subit un échantillon lorsqu'il est chauffé.

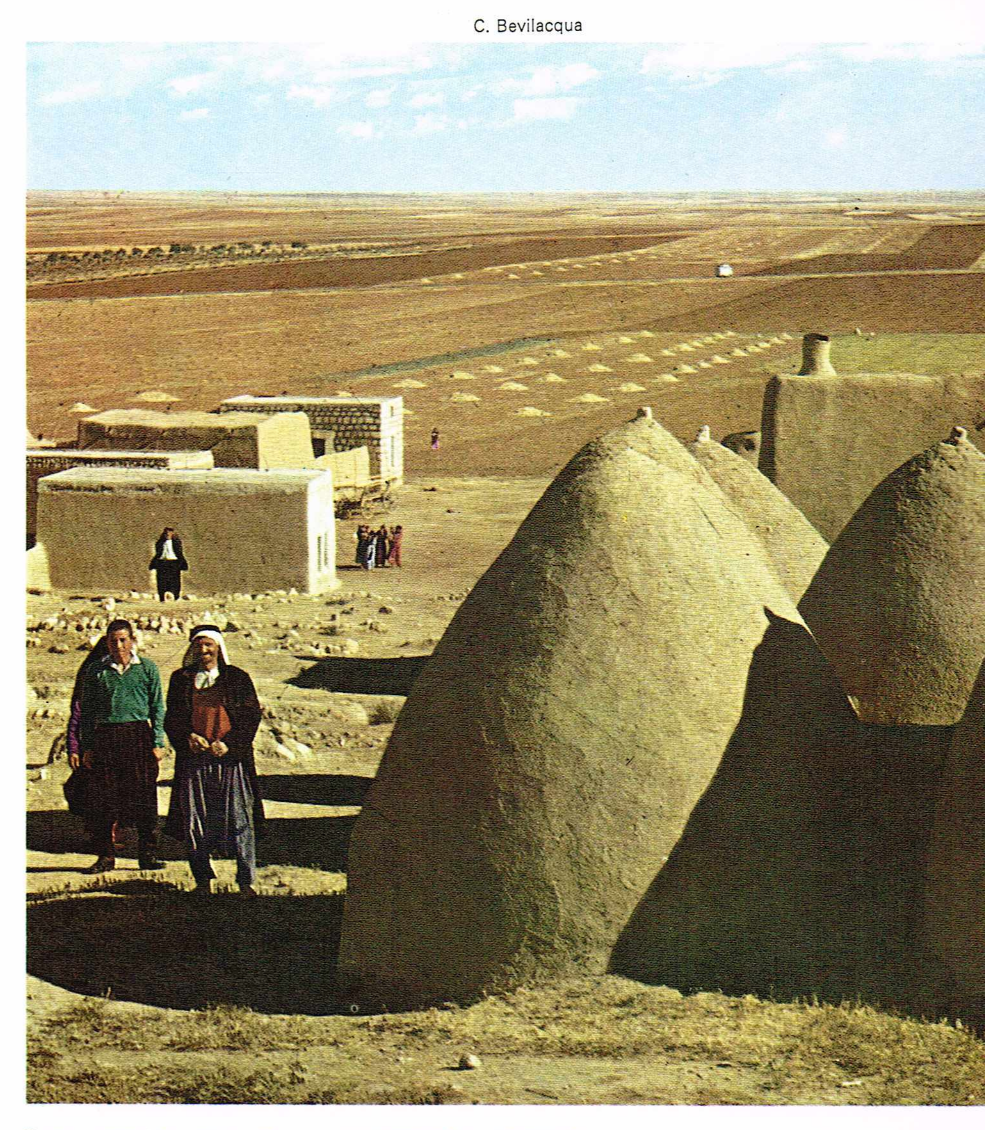
La classification des argiles est basée sur des critères qui tiennent compte de leur structure et de leur composition. On distingue, ainsi, différents groupes :

— Groupes des allophanes *: mal connu, ce groupe renferme des matériaux proches de la kaolinite par leur composition mais qui apparaissent amorphes aux rayons X.*

— Groupe de la kaolinite, *comprenant aussi la dickite, la nacrite, et l'anauxite (qui est une kaolinite contenant un excès de silice). La kaolinite est particulièrement importante en raison des nombreux emplois auxquels se prête le* kaolin. *Ce dernier, lorsqu'il est pur, contient 46,54 % de silice, 39,50 % d'alumine et 13,86 % d'eau.*

*— Groupe de l'*halloysite *(minéral découvert dans les environs de Liège, en Belgique) : pendant longtemps, ce nom a été donné à divers minéraux. Le gisement où elle fut découverte pour la première fois n'existant plus, il est impossible aujourd'hui de connaître avec précision la*

C. Bevilacqua



Dans certains pays de la Méditerranée orientale, l'argile est utilisée dans la construction d'habitations typiques de forme conique, appelées « trullos »; ici un village de « trullos » en Syrie.



Échantillon d'argile rouge contenant des cristaux de gypse, provenant d'Espagne (musée d'Histoire naturelle de Milan).

composition de l'halloysite d'origine. C'est pour cela qu'en 1950, les chercheurs se sont mis d'accord pour attribuer le nom d'halloysite à tous les minéraux présentant les mêmes caractéristiques que celles figurant dans la description de l'halloysite originelle.

Il en existe essentiellement deux types, dont la composition est donnée respectivement par les deux formules suivantes : $Si_2\ Al_2\ O_5\ (OH)_4$ *et* $Si_2\ Al_2\ O_5\ (OH)_4,\ 2\ H_2O$. *Ce deuxième minéral, par chauffage à une température peu élevée (environ 70 °C), perd de l'eau et se transforme en un minéral moins hydraté.*

— *Groupe de la* montmorillonite : *la structure des argiles de ce groupe a exigé de longues études; elle est aujourd'hui bien connue. Ces argiles connaissent des applications techniques importantes, car leur réseau cristallin peut « accueillir » un volume considérable de molécules étrangères. En plus de la montmorillonite, ce groupe comprend la beidellite, la nontronite, l'hectorite et la saponite.*

Pour terminer, rappelons qu'il existe le groupe de l'illite, *qui possède quelques affinités de structure avec les micas.*

FORMATION DES ARGILES

Le mode de formation des argiles et les phénomènes qui président à leur accumulation peuvent servir de base à une autre classification dans laquelle on distingue les types d'argiles suivants :

— *Les* argiles « résiduelles » : *ce sont les argiles qui sont restées dans le lieu même de leur formation ou qui ont subi un transport très court. Formées par altération d'autres roches, elles présentent une composition variable selon les conditions de formation. Dans certains cas, la silice a pu être emportée tandis que les autres composés sont demeurés comme résidus. On observe alors la formation de dépôts de* latérites, *de* bauxites *et de* diaspore *(minerai d'aluminium) qui revêtent une grande importance pratique. L'argile « réfractaire », utilisée pour la fabrication de matériaux résistant aux températures élevées, peut avoir la même origine; on la trouve, par ailleurs, dans des dépôts fluviatiles et lacustres. Dans ce cas, le composant principal est la* kaolinite, *très intéressante sur le plan technologique.*

— *Les* argiles « transportées » : *elles se subdivisent à leur tour en nombreux sous-groupes, en fonction de l'agent qui en a opéré le transport.*

— *Les* argiles « glaciaires » *sont les produits les plus fins issus de l'érosion due aux glaciers; elles ont une composition relativement homogène, surtout en ce qui concerne leur teneur en calcaire. Si d'autres phénomènes ne sont pas intervenus, après l'érosion glaciaire, les granules ne sont pas séparés en fonction de leurs dimensions.*

— *Les* argiles « fluviatiles » *se trouvent dans des dépôts formés de granules de dimensions très proches, mais irrégulièrement répartis et souvent mêlés à des cailloux, des grès et des sables. Les dépôts ont une forme « lenticulaire », c'est-à-dire ressemblant à une lentille; ils peuvent avoir des dimensions assez importantes et renferment souvent de la kaolinite presque pure et des détritus quartzeux. Sous les climats arides, les argiles fluviales sont souvent très riches en carbonates.*

— *Les* argiles « lacustres calcaires » *sont constituées de granules très fins et contiennent essentiellement de la calcite et de l'illite.*

— *Les* argiles « marines » *sont très répandues. Elles varient considérablement tant en ce qui concerne leur composition que leur structure. On les trouve souvent en couches très régulières, généralement de couleur bleuâtre.*

— *Rappelons enfin les* argiles « lagunaires » *toujours associées à des dépôts salins; elles sont dues à l'évaporation des eaux, dans des bassins fermés, riches en sels. Les bancs d'argile sont très étendus horizontalement et alternent avec des couches de sel ou de gypse. Souvent, ces argiles contiennent des cristaux de minéraux tels que des gypses.*

EMPLOIS DES ARGILES

Les argiles servent à de nombreux usages que l'on peut classer en deux groupes : le premier comprend les emplois qui ne nécessitent aucun traitement des minéraux; le second, tous les usages qui font appel à des transformations qui s'obtiennent par cuisson. Ainsi, les roches argileuses très compactes, qui contiennent beaucoup de quartz, sont utilisées comme « pierres à aiguiser » : la plupart de ces roches proviennent d'Allemagne et d'Italie (on en trouve dans les environs de La Spezia).

Autre utilisation importante : les roches argileuses, et notamment les schistes argileux, sont employés pour la confection de couvertures de bâtiments. On utilise à cet effet les « ardoises », schistes argileux qui se laissent facilement cliver en plaques dont on apprécie la légèreté (les moins épaisses pèsent de 12 à 15 kg le mètre carré); ces ardoises résistent très bien aux agents atmosphériques et sont imperméables. De couleur gris fer, elles apparaissent noires lorsqu'elles sont polies; les plans de clivage offrent un éclat soyeux.

Certains types d'ardoises servent à la fabrication de tableaux noirs.

Toutes les ardoises, bien qu'apparemment homogènes, sont formées en réalité de granules de quartz, de feldspaths, de minéraux de magnésium et de fer, de particules de charbon et de calcite, tous ces composants étant cimentés entre eux par des minéraux argileux.

Les gisements les plus importants sont : en France, ceux d'Angers, de Charleville, de Cherbourg, de Grenoble, de Brive et de Redon; en Grande-Bretagne, ceux du pays de Galles. En Italie, on en trouve en Ligurie et dans de nombreuses vallées alpines.

Les argiles connaissent aussi d'importantes applications industrielles; finement subdivisées, elles peuvent absorber de grandes quantités de gaz ou de liquides. Aussi sont-elles utilisées comme « terre à foulon » pour dégraisser la laine et comme « terre à blanchir » pour absorber les impuretés dispersées dans les liquides. Elles servent surtout à la purification des huiles minérales et végétales.

Enfin, les argiles sont utilisées comme matériau inerte dans la fabrication du caoutchouc, du papier et des savons. La bentonite, qui est la plus importante de ces argiles dites « smectiques », est extraite dans les très vastes gisements du Wyoming, aux États-Unis. On en trouve aussi en Italie. Son pouvoir absorbant à l'égard des liquides est très élevé; il est dû surtout à la présence de montmorillonite. Comme on le voit, les applications industrielles des argiles sont nombreuses et importantes.

C'est également à la présence d'argiles qu'est dû le pouvoir absorbant des sols; ces matériaux, en effet, ne se contentent pas d'absorber l'eau, mais ils fixent aussi les sels indispensables au développement des végétaux et les engrais; ils jouent donc, en agriculture, un rôle d'une importance primordiale.

LES TERRES COLORÉES

Bien que de nombreuses grottes présentent un grand intérêt scientifique, les plus célèbres sont certainement celles d'Altamira (Espagne) et de Lascaux (France). Leur célébrité est due à la présence sur les parois et les plafonds de remarquables peintures rupestres d'âge préhistorique.

Il s'agit d'images d'animaux ou de scènes de chasse, formant des fresques qui ont probablement été peintes dans un but propitiatoire. Peu de couleurs, savamment assemblées, donnent un relief particulier à ces représentations.

Ces peintures nous apprennent que l'homme préhistorique connaissait, déjà, des « terres » colorées qu'il a su utiliser habilement; parmi celles-ci figuraient des substances qui lui ont permis d'obtenir du blanc et du jaune, du rouge et de l'ocre. Il faut ajouter à cette liste l'emploi du noir, mais cette couleur ne provenait probablement pas d'une véritable terre colorée, car les minéraux qui se prêtent à la préparation de peintures noires sont assez rares, alors qu'il est facile d'employer des substances produites artificiellement.

La connaissance des terres colorées, transmise de génération en génération (les Égyptiens, les Grecs, les Romains, les Indiens les utilisèrent avec art), s'enrichit peu à peu de nouvelles matières : parmi celles-ci on peut citer : le cinabre, l'azurite, la malachite, l'orpiment.

Pendant longtemps, les composés minéraux furent les seuls matériaux colorants dont disposassent les peintres. Il faut d'ailleurs remarquer le singulier contraste qui apparaît entre la perfection très vite atteinte sur le plan artistique et la lenteur des progrès effectués dans la connaissance des matières colorantes.

C'est, en effet, au XVIIe siècle seulement que commencèrent à apparaître des couleurs obtenues par traitement chimique de certains éléments. Aujourd'hui, les colorants de ce type sont beaucoup plus employés que les minéraux; et on ne doit attribuer le nom de « terres colorées » qu'aux substances que l'on trouve dans la nature.

On donne le nom de « pigments » aussi bien aux couleurs minérales qu'à celles obtenues par précipitation chimique. Ce sont des poudres insolubles dans les liquides qui ne leur servent que de « véhicule ». Le pouvoir colorant des pigments provient de ce qu'ils peuvent être uniformément étalés sur les surfaces à traiter ou intimement mélangés aux matières solides à colorer. Les véhicules habituels des pigments sont les huiles et l'eau. Les peintures apparaissent donc comme des suspensions de pigments dans un fluide approprié, lequel, en s'évaporant, laisse une surface recouverte uniformément de pigment. L'insolubilité à l'eau et l'inaltérabilité aux agents atmosphériques sont les principales propriétés que doit posséder un pigment.

Les substances solubles dans l'eau ou dans d'autres solvants sont appelées « colorants »; ce sont généralement des produits de synthèse.

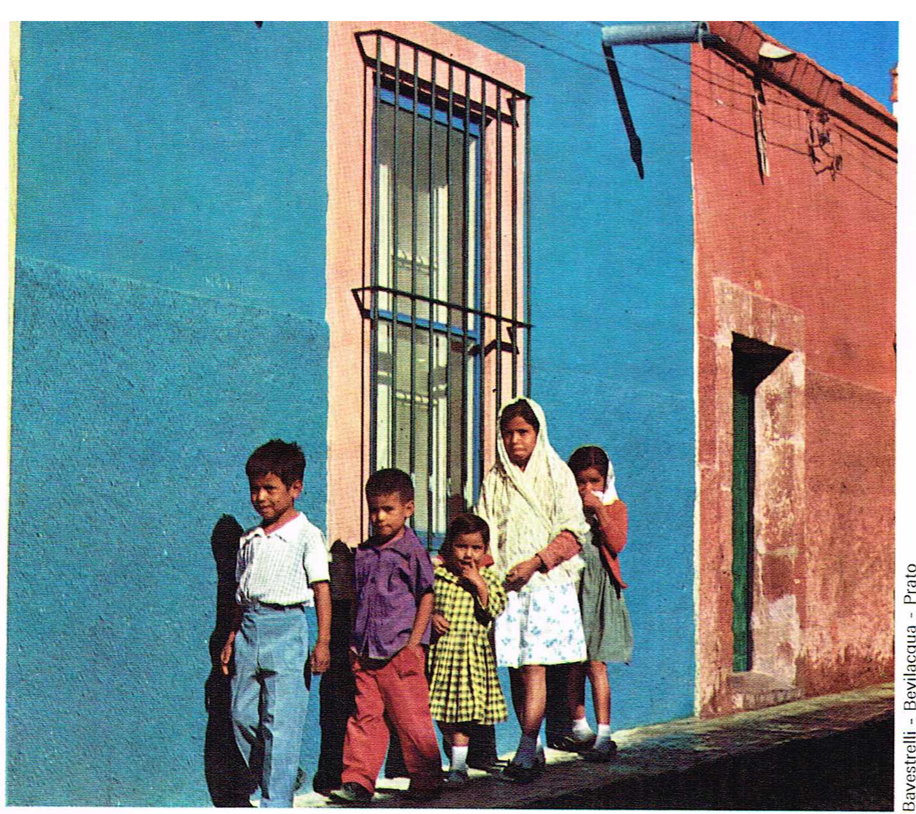
Il existe donc deux catégories de pigments : ceux que l'on trouve dans la nature et ceux que l'on obtient par traitement chimique de certains produits naturels. Nous traiterons surtout ici des composés naturels, que nous classerons en fonction de la couleur; mais nous ne pourrons pas passer sous silence les composés synthétiques actuellement employés.

Il existe par ailleurs quelques pigments d'origine végétale (par exemple, l'indigo, utilisé en Inde depuis les temps les plus anciens) et des « laques », obtenues à partir de colorants solubles traités par certains sels métalliques; les laques sont souvent stables et insolubles.

Bavestrelli - Bevilacqua - Prato



Peintures murales de la nécropole thébaine de Deir el Médine (détail du plafond de la tombe de Sennedjen) ; cette ancienne peinture a été réalisée à l'aide de terres colorées.



Bavestrelli - Bevilacqua - Prato

Mélangées à la chaux, les terres colorées égayent les façades des maisons des pays chauds ; sur la photo : petites maisons de San Miguel de Allende (Mexique).

LES DIFFÉRENTES COULEURS

Autrefois, le blanc était obtenu à partir de la chaux; il s'agissait donc d'une couleur peu coûteuse et facile à préparer. L'emploi de la chaux dans le blanchiment des murs, même de nos jours, est encore très répandu, surtout dans les régions chaudes. Mais la chaux n'est pas très durable, notamment en raison du fait qu'elle est soluble dans l'eau; aussi faut-il la renouveler souvent.

Les pigments blancs utilisés aujourd'hui sont plus solides que la chaux. De plus ils sont très nombreux. Parmi les principaux on peut citer : le « blanc fixe » (sulfate de baryum) qui est insoluble et inaltérable; l'oxyde de zinc qui forme le « blanc de zinc »; le sulfure de zinc, qui, mélangé au sulfate de baryum, constitue le « lithopone », lequel a un remarquable pouvoir couvrant. En outre, on fabrique depuis des siècles le blanc de céruse, qui est un carbonate basique de plomb, dont le défaut est d'être fortement toxique, ce qui justifie la réglementation de son emploi. L'oxyde de titane (blanc de titane), le titanate de plomb et l'oxyde d'antimoine ont un usage plus récent.

Les jaunes étaient obtenus surtout à partir de la limonite, matériau friable, qui contient un mélange d'oxydes de fer, généralement hydraté. La limonite est très répandue et constitue un important minerai de fer; en tant que pigment elle est connue sous le nom d'« ocre jaune », mais ce terme d'ocre est également employé pour des matériaux de couleur plus foncée et même rouge.

L'orpiment fournissait aussi une belle couleur jaune aux nuances variées; il s'agit d'un sulfure d'arsenic, peu répandu, donc relativement cher.

Aujourd'hui, on utilise de nombreux pigments jaunes, tels que le « jaune de Kassel » (oxychlorure de plomb), le « jaune de cadmium » (sulfure de cadmium) insoluble et peu altérable, les chromates de zinc et de plomb, aux nuances orange. Pour colorer en jaune les céramiques, on utilise des uranates de sodium qui, même en très faible quantité, donnent une coloration très vive.

Les rouges connus dans l'Antiquité étaient fort nombreux : l'« ocre rouge », très employée, est une variété terreuse, souvent impure, d'hématite : il s'agit d'un oxyde de fer pouvant former des cristaux, gris foncé et brillants, qui sont utilisés parfois dans un but ornemental. L'hématite, qui est aussi l'un des principaux minerais de fer, est très répandue; on la prépare aujourd'hui artificiellement pour servir de pigment. Le « cinabre » (sulfure de mercure et seul minerai exploitable de cet élément) était lui aussi très employé; il est connu sous le nom de « vermillon », d'une magnifique couleur rouge foncé. Il est insoluble et inaltérable. Comme l'ocre rouge, le vermillon est préparé, aujourd'hui, artificiellement sous une forme plus pure.

La découverte du « minium », mélange d'oxydes de plomb, a été plus tardive. Il est utilisé dans les peintures antirouille. On emploie aussi le séléniure de cadmium, (rouge de cadmium), quelques pigments organiques ou végétaux et les molybdate et tungstate de plomb, dont la couleur tire sur l'orange.

Les couleurs brunes étaient obtenues surtout à partir d'ocres foncées (qu'on prépare aujourd'hui artificiellement avec des oxydes de fer), comme la « terre de Sienne », dont le nom évoque le lieu d'origine. En chauffant ce produit, on obtient la « terre de Sienne brûlée », de couleur plus foncée et plus rougeâtre.

Certaines variétés d'ocre, contenant du manganèse, sont appelées « terres d'ombre »; elles sont très foncées. Le « brun Van Dyck », fort employé par les peintres, contient des impuretés bitumineuses qui lui donnent des tons gris très foncés.

Les bleus et les verts étaient plus difficiles à obtenir, à cause de la rareté des composés naturels susceptibles de fournir ces teintes. Le « bleu outremer », connu depuis longtemps, était préparé à partir des lapis-lazulis, silicates peu abondants, donc très chers (il fut utilisé avec parcimonie dans les peintures antiques et les ouvrages particulièrement luxueux). Au XVIII[e] siècle, on découvrit les composés cyanés du fer, obtenus à partir de déchets organiques (« bleu de Prusse » et « bleu de Berlin »), et les composés du cobalt (« bleu de cobalt ») : leur prix est bien inférieur à celui du bleu outremer, que l'on sait aujourd'hui produire artificiellement.

Les verts et les verts-bleus étaient préparés à partir de la malachite et de l'azurite, qui sont des carbonates de cuivre, rares et coûteux; en outre, la malachite s'altère assez facilement. On utilisait également la glauconite, convenablement broyée. Il existe, aujourd'hui, de nombreux verts, utilisés tant comme pigments que comme colorants pour les céramiques. Ils sont formés de composés de chrome et d'oxydes de chrome. On emploie, en outre, mais avec beaucoup de précautions à cause de leur toxicité, le « vert de Paris », le « vert de Scheele » et le « vert de Schweinfurt », qui sont à base de cuivre et d'arsenic.

Certains composés organiques, les « phtalocyanines », permettent aujourd'hui de préparer des pigments bleus et verts, qui sont cependant assez altérables.

En ce qui concerne les couleurs noires, utilisées depuis très longtemps, il faut signaler que, en réalité, elles ne sont pas d'origine minérale. En effet, elles sont préparées à partir de charbon (surtout le charbon d'os) ou du noir de fumée. On utilise parfois le graphite, surtout pour les teintures industrielles; il donne un gris plomb mat.

C'est le noir de fumée qui se prête le mieux à la préparation de couleurs pour la peinture et même à la fabrication d'encre, notamment parce qu'il se présente sous forme de poussière impalpable. On le prépare aujourd'hui en faisant brûler des huiles minérales ou des gaz naturels à l'abri de l'air. Une méthode curieuse, mais toujours employée, permet, dans les pays islamiques, de l'obtenir à partir des très nombreuses lampes à huile qui brûlent dans toutes les mosquées. L'huile, dans laquelle plonge une mèche, ne brûle pas complètement, et le noir de fumée se dépose sur une surface froide située à la partie supérieure des lampadaires.

Suivant qu'ils sont destinés à la préparation d'émaux, de laques ou de peintures, les terres colorées et les pigments sont soumis à des traitements différents que les progrès constants permettent d'améliorer; mais par suite de besoins toujours croissants, il est de plus en plus nécessaire de produire artificiellement de nouveaux agents colorants qui, fabriqués industriellement, supplantent et remplacent les pigments naturels.

Il n'en demeure pas moins vrai que les terres colorées ont eu une très grande importance dans l'histoire de la peinture et qu'aujourd'hui encore, sur les marchés des villes d'Orient, il n'est pas rare de trouver, à côté des différentes épices, de petits tas de terres colorées.

L'ALBATRE

On désigne sous le nom d'albâtre deux espèces minérales de composition différente : l'une est une variété de gypse, l'autre, un carbonate de calcium. Tous deux sont compacts et translucides. C'est probablement à cause de leurs caractéristiques optiques que ces deux minéraux sont désignés par le même terme. Toutefois des dénominations plus précises permettent de les différencier, on parle ainsi de « l'albâtre gypseux », et de « l'albâtre calcaire » ou « albâtre oriental » ; enfin leurs variétés sont connues sous diverses appellations.

L'albâtre est un matériau utilisé dans la construction ou dans certaines productions artisanales ; cependant, sa diffusion demeure pratiquement limitée aux régions où se trouvent des carrières d'une certaine importance. C'est là une observation qu'on peut faire à propos de tous les matériaux de construction, exception faite de quelques-uns qui, par leurs propriétés particulières, connaissent une très large diffusion.

On voit, par exemple, que dans les pays nordiques, où les forêts abondent, le bois est le matériau le plus utilisé pour la construction des maisons, tandis que dans d'autres régions, riches en pierres de construction ou en argiles, les maisons sont bâties en moellons ou en briques. Ainsi, l'emploi de l'albâtre est surtout limité à certaines régions des Apennins, au centre et au sud de l'Italie. L'albâtre est recherché pour sa couleur agréable, ainsi que pour la facilité avec laquelle il peut être extrait, pour sa mise en œuvre aisée et pour sa faible densité.

L'ALBATRE GYPSEUX

Variété de gypse blanc, microcristallin, d'aspect compact, et très tendre, il se laisse rayer à l'ongle. Il existe quelques variétés de coloration rose ou présentant un aspect zoné où se mêlent plusieurs couleurs. Il est particulièrement abondant en Émilie, en Sicile, en Toscane et dans le Piémont ; l'Angleterre en possède également d'importants gisements.

L'albâtre gypseux est surtout utilisé pour la fabrication artisanale de vases et de statuettes. Il est assez peu employé comme matériau décoratif sur les façades des bâtiments du fait de son assez grande altérabilité aux intempéries. On le vend parfois sous le nom de « marbre florentin ».

L'albâtre gypseux était déjà connu des Étrusques, qui exploitaient quelques-unes des nombreuses carrières toscanes. On le trouve en masses arrondies, microcristallines, le plus souvent de forme ellipsoïdale, ne dépassant presque jamais 300 kg ; ces masses alternent dans des couches de gypse avec l'argile.

La variété la plus estimée est l' « albâtre blanc » de la vallée du Marmolaio ; le « blanc veiné » et le « gris bardiglio » sont moins appréciés. L'albâtre « agate » de Volterra (ville dans laquelle s'est développé un important artisanat local et où existe même une école où l'on apprend à travailler ce matériau) est renommé.

L'ALBATRE CALCAIRE

Plus répandu et plus apprécié que le précédent, l'albâtre « oriental » ou « calcaire » est constitué de carbonate de calcium microcristallin. Il provient des grands dépôts naturels d'aragonite (variété de carbonate de calcium), qui se sont formés sous l'action des eaux qui circulent dans des terrains calcaires.

Chacun sait en effet que les eaux de pluie et de ruissellement provoquent sur les massifs calcaires une érosion importante qui agit non seulement en surface, mais également en profondeur où se succèdent des phénomènes de dissolution (entraînant la formation de cavités très vastes) et de dépôt (qui se manifestent par l'apparition de concrétions d'une très grande beauté).

C. Bevilacqua

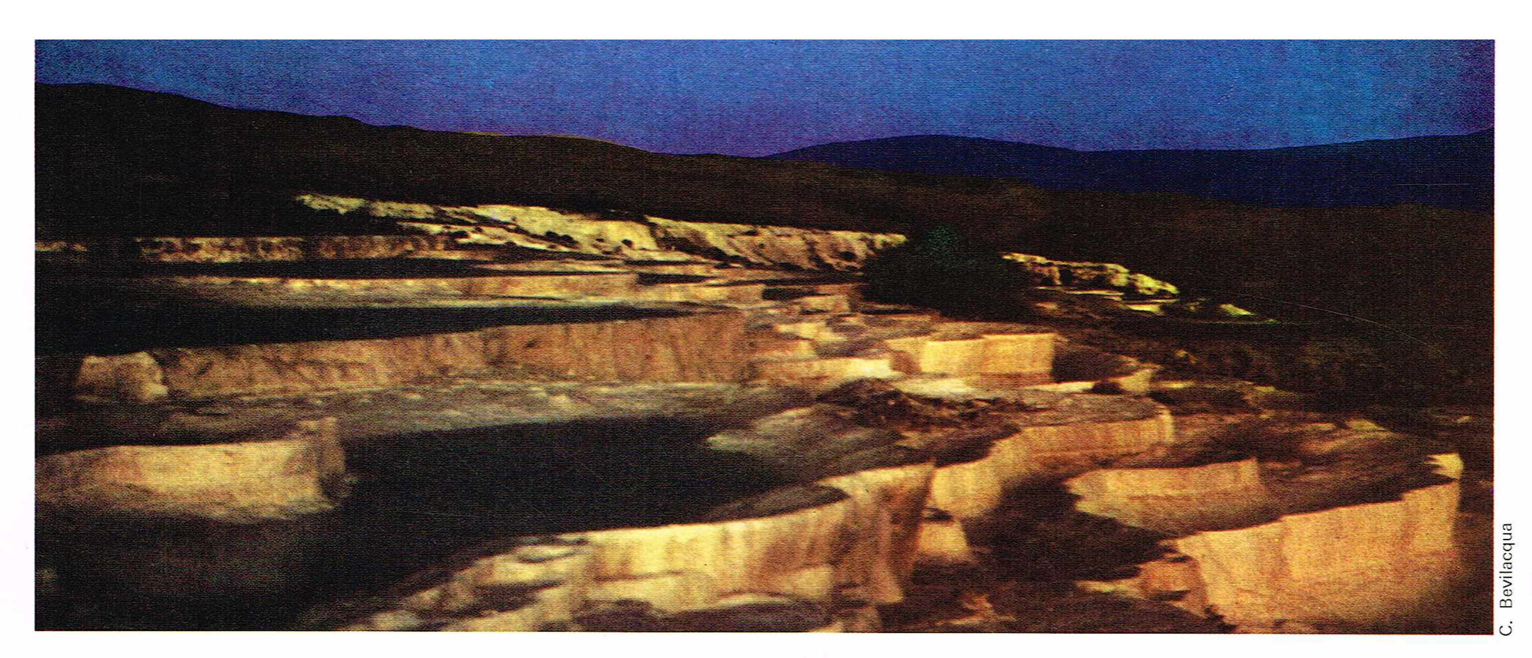


Un bel exemple de stalactites et de stalagmites dans les grottes de Castellana (Bari).

Les stalactites et stalagmites qui se forment ainsi peuvent remplir totalement des cavités souterraines, donnant lieu à la formation de bancs d'albâtre calcaire d'une grande épaisseur.

Ce type d'albâtre est dit « oriental » du fait qu'il était connu en Orient bien avant d'être utilisé en Europe ; il en est même fait mention dans l'Ancien Testament. Il est habituellement jaune ou de tons plus sombres, pouvant aller jusqu'au marron, sans que cela nuise à sa beauté. Il se présente en blocs formés de zones concentriques, alternativement claires et foncées, ressemblant à l'onyx : on l'appelle alors « onyx des grottes ».

Il existe, par ailleurs, des dépôts superficiels de carbonate de calcium, généralement blancs ou jaune clair ; ils sont souvent assez étendus, comme ceux de Pamukkale,



C. Bevilacqua

Le magnifique spectacle qu'offrent au coucher du soleil les terrasses calcaires près des sources thermales de Pamukkale (anciennement Hiérapolis), en Turquie.

en Turquie (l'ancienne ville thermale d'Hiérapolis). Ici, le matériau a été transporté à la surface par les eaux thermales qui, en s'évaporant, ont donné lieu à la formation de terrasses singulières; celles-ci prennent, dans certaines conditions de lumière, les colorations les plus étranges.

Il convient maintenant de dire un mot sur le transport du carbonate de calcium par les eaux et sur sa sédimentation. Le carbonate de calcium est très peu soluble (environ 13 mg par litre d'eau); toutefois, sa concentration peut augmenter considérablement dans les eaux qui contiennent du gaz carbonique dissous. Tel est le cas de la plupart des cours d'eau et des eaux de pluie.

L'accroissement de la solubilité résulte de la formation de bicarbonate de calcium, selon la réaction :

$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O \rightleftarrows Ca\,(HCO_3)_2.$$

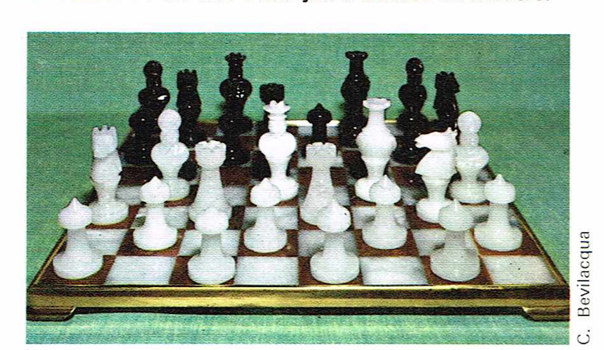
A froid, cette réaction est déplacée vers la droite, tandis qu'à chaud, ou par suite de l'évaporation de l'eau qui contient le bicarbonate en solution, elle se déplace vers la gauche.

Ainsi, l'eau, en s'évaporant, provoque le dépôt de concrétions de carbonate de calcium, dont les plus connues sont les stalactites et les stalagmites.

Dans le Karst (plateau calcaire de l'Istrie) des conditions idéales pour la formation d'albâtre calcaire ont été réalisées, de sorte qu'il en existe de nombreuses carrières près de Trieste, à Duino, à Aurisina, Vigliana et Sgonigo. Cette variété d'albâtre est communément appelée « stalactite ». Il se présente avec des colorations diverses, jaune, rouge ou jaune-orangé, qui dépendent des impuretés présentes, notamment des sels ferriques qui sont généralement abondants dans les terrains calcaires.

Les stalactites et les stalagmites se forment dans la nature de manière presque continue, au gré des saisons, ce qui peut provoquer le remplissage complet des grottes par du carbonate de calcium et la constitution de dépôts très étendus.





C. Bevilacqua

Ci-contre : ancien vase à parfum en albâtre, Pasiade (Londres, British Museum).
Ci-dessous : un très beau jeu d'échecs en albâtre.

Parmi les plus importants, citons les dépôts anglais du Durham et du Northumberland, qui contiennent aussi du minerai de plomb, et les grottes du Derbyshire et de l'île de Skye. Au Mexique, on trouve de vastes gisements, fournissant un matériau qu'on appelle « onyx mexicain » à cause des zones concentriques fortement contrastées qu'il présente. Enfin, il existe des carrières aux États-Unis (à Luray et Carlsbad); ainsi que dans l'archipel grec; dans le Harz (en Allemagne); en France, où il existe de nombreuses grottes célèbres à bien des titres (Lascaux, Les Eyzies, l'aven Armand, etc.); en Yougoslavie, à Postojna, où les grottes ont été aménagées (avant même la Première Guerre mondiale) pour accueillir des visiteurs.

L'albâtre fut employé dès les temps les plus anciens, notamment par les Romains qui s'en servirent comme matériau de décoration et pour fabriquer de très grands sarcophages.

L'albâtre calcaire est moins soluble que l'albâtre gypseux; il est aussi plus dur et plus résistant; on l'utilise donc de préférence dans la construction; ainsi il en a été fait un grand usage dans l'édification de la basilique de Saint-Pierre de Rome. On s'en sert pour en faire des revêtements, des mosaïques en pierre, et des vitraux de cathédrale.

En vue de ses différentes utilisations, l'albâtre est coupé en plaques d'épaisseur variable, que l'on polit ensuite; les plaques sont taillées de manière à obtenir le meilleur effet décoratif.

Dans les constructions anciennes, on utilisait généralement les matériaux des carrières les plus proches; ainsi, la carrière du Circeo, déjà connue des Romains (elle était constituée d'un banc assez étendu ayant une épaisseur de cinq mètres environ), a fourni l'albâtre jaune aux reflets sombres, tirant sur le marron, qui a servi à confectionner les vitrages des fenêtres de l'abbaye de Casamari, dans le Latium. La pierre grise de ce monument sévère s'accorde parfaitement avec la lumière dorée qui filtre à travers les plaques d'albâtre. L'effet est tout à fait extraordinaire.

Les carrières de Montalcino, près de Sienne, connues depuis le IVe siècle, ont fourni l'albâtre employé pour la construction de l'abbaye de S. Antimo à Montalcino, du dôme de Sienne et de celui d'Orvieto.

Il existe, enfin, une carrière d'albâtre à Latronico, en Lucanie, connue depuis le XVIe siècle et utilisée pour des monuments locaux; elle fournit un matériau blanc veiné de gris. Toutes ces carrières sont exploitées par intermittence, lorsque la demande est suffisamment importante. Celle-ci est aujourd'hui assez faible, car d'autres matériaux concurrencent fortement l'albâtre dont l'emploi se limite désormais à la fabrication artisanale de petits objets.

L'albâtre, matériau assez humble parmi les pierres d'ornement, a cependant acquis une assez grande réputation en raison des emplois qu'il a trouvés lors de la construction des plus grandioses monuments sacrés et grâce surtout à l'habileté des artisans qui l'ont travaillé.

Sa renommée est due aussi aux magnifiques jeux de lumière qu'il permet et qui frappent d'étonnement toute personne qui visite une grotte à stalactites et stalagmites.

LES CÉRAMIQUES ET LES BRIQUES

Parmi les matériaux couramment utilisés dans l'industrie du bâtiment les argiles occupent une place de toute première importance; en effet il s'agit là de la matière première à partir de laquelle sont fabriqués les produits qui sont quotidiennement mis en œuvre par le maçon, comme le ciment, la brique et la tuile. Ce ne sont pourtant pas là les seuls emplois des minéraux argileux qui entrent dans la fabrication des produits céramiques et des matériaux réfractaires.

D'une façon générale, la transformation permettant de changer la matière friable et incohérente qu'est l'argile, en produit solide et inaltérable, est réalisée par cuisson. Cependant le matériau ainsi obtenu varie avec la composition minéralogique de la roche employée et suivant le mode de cuisson.

On distingue, en effet, des argiles « grasses » et des argiles « maigres » : les premières sont relativement pauvres en sable, tandis que les autres en contiennent des quantités relativement importantes.

Les principales propriétés des argiles dont il faut tenir compte au moment de la cuisson sont le durcissement, le retrait et la fusibilité. Mais il faut aussi prendre en considération la plasticité, c'est-à-dire l'aptitude de l'argile humide à se laisser modeler, puisque, dans un premier temps, le matériau fait l'objet d'un façonnage destiné à donner aux objets la forme voulue. La plasticité est d'autant plus grande que la teneur en minéraux argileux est plus élevée et la teneur en sable plus faible; les argiles les plus plastiques sont donc les argiles grasses.

Les différentes phases du travail de l'argile sont : l'émiettage, effectué à l'aide de brise-mottes, qui réduit le matériau en une fine poussière et peut servir à homogénéiser les matériaux, surtout si on doit mélanger plusieurs produits, le pétrissage à l'eau, le façonnage, le séchage à l'air et enfin la cuisson. Pendant la cuisson, le matériau perd son eau et se transforme en subissant un durcissement considérable : l'argile cuite n'est plus plastique. Pour éviter qu'elle ne devienne poreuse à la cuisson, il faut utiliser des mélanges de composition spéciale et opérer à des températures convenables.

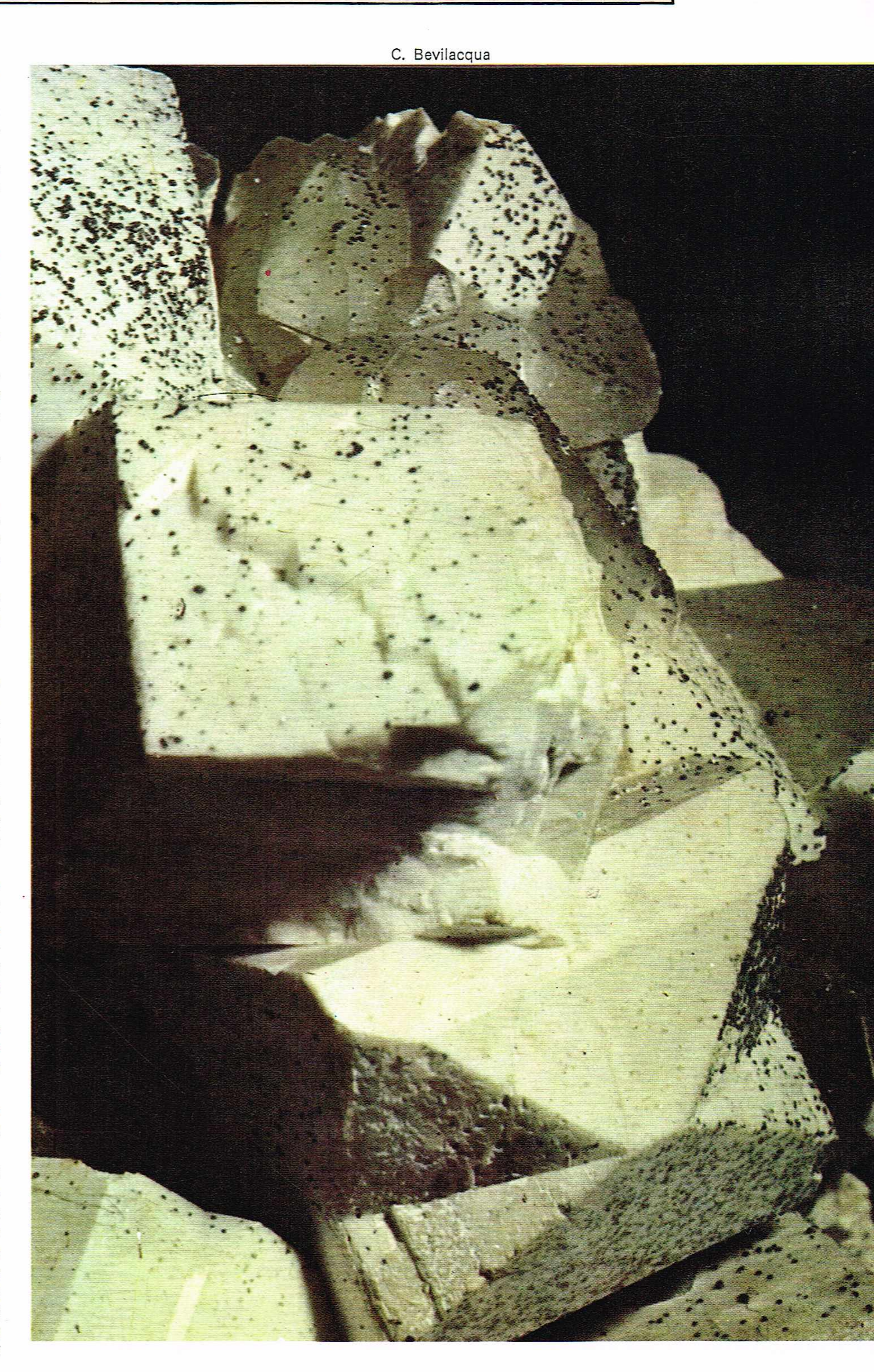
La cuisson provoque en outre un certain retrait, c'est-à-dire une diminution de volume, dû à la perte d'eau et au nouvel arrangement que prennent les particules du minéral. Le retrait dépend donc de la composition et de l'humidité du matériau, ainsi que de la température de cuisson; le phénomène du retrait a une importance considérable dans l'industrie céramique. En effet, si les matériaux ordinaires subissent un retrait d'environ 5 à 10 % du volume initial, les matériaux plus plastiques auxquels s'adresse précisément l'industrie céramique, subissent un retrait pouvant atteindre 15 %.

On évite en partie cet inconvénient en ajoutant à la pâte un corps « maigre » tel que du quartz ou de l'argile déjà cuite.

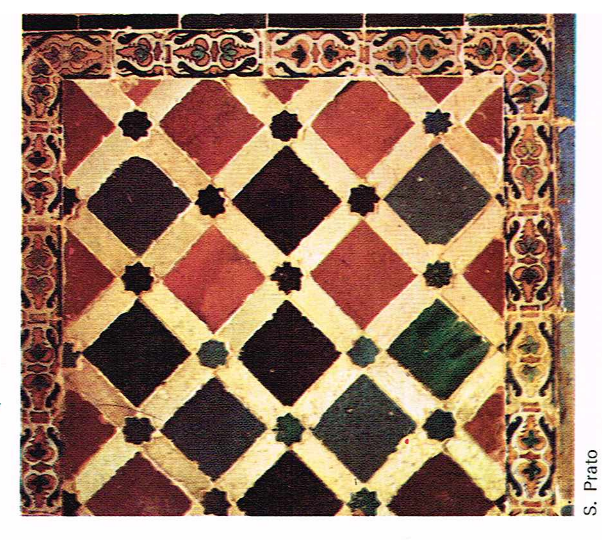
Enfin, il faut tenir compte de la fusibilité du matériau soumis à cuisson; plus l'argile est pure, plus elle fond difficilement : elle est donc plus réfractaire; ainsi le kaolin pur dont la teinte est blanche même après cuisson ne fond qu'à une température très élevée. Inversement, la présence d'impuretés abaisse le point de fusion; c'est la raison pour laquelle les matériaux contenant des oxydes de calcium, de fer et de magnésium ne se prêtent pas à la fabrication d'éléments réfractaires. Toutefois, une teneur élevée en alumine (oxyde d'aluminium) rend l'argile très réfractaire.

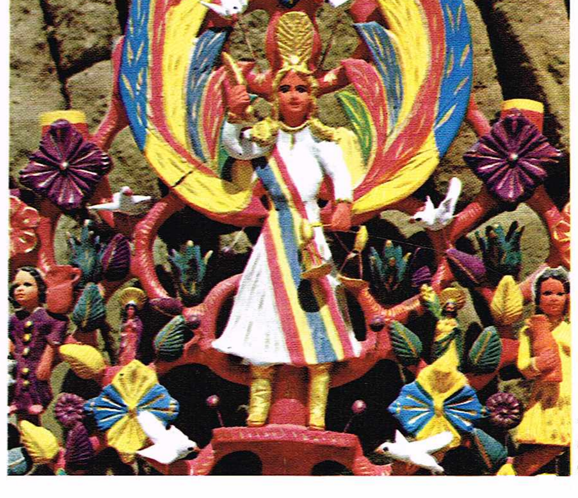
Il faut noter encore à propos des impuretés que contiennent les argiles que la présence de certains métaux donne aux produits cuits une couleur particulière : le fer colore les poteries en rouge, le manganèse en brun. C'est

C. Bevilacqua



Macles d'orthose. Baveno (lac Majeur). L'orthose est un des principaux représentants de la famille des feldspaths, elle est utilisée dans la production des porcelaines.





A gauche, carrelage polychrome du patio de Las Roncellas dans l'Alcazar de Séville. A droite : ange et sujets en terre cuite peinte (artisanat de Metepec, Mexique).

ainsi que des argiles manganifères sont utilisées pour la fabrication de tuiles dont l'aspect sombre est très apprécié.

Employés dès la plus haute antiquité, les matériaux argileux ont permis le développement d'une industrie très spécialisée qui met en œuvre des techniques hautement élaborées. Des soins particuliers sont apportés tant pour la préparation des pâtes que pour leur cuisson et les méthodes sont sensiblement différentes selon qu'il s'agit de produire des briques, des réfractaires, des céramiques, des grès, des faïences ou des porcelaines.

La fabrication des briques ordinaires comprend les quatre opérations suivantes :

— *la préparation de la pâte qui nécessite en général l'adjonction d'un dégraissant tel que du sable ou du quartz pulvérisé,*
— *le façonnage réalisé par pressage à l'aide de machines,*
— *le séchage qui peut se faire dans des chambres spéciales ou par passage dans des tunnels où l'humidité et la température sont contrôlées en permanence,*
— *la cuisson qui est effectuée dans de grands fours continus à une température de 900 °C.*

Les briques réfractaires sont préparées selon des procédés analogues, mais en utilisant des matériaux plus purs, donc moins fissiles. Pour rendre ces produits plus compacts et pour éviter qu'ils ne subissent des variations trop importantes de volume à une température élevée, on mélange aux matériaux des argiles déjà cuites.

LES PORCELAINES

Les porcelaines méritent une mention particulière, puisqu'elles constituent l'un des matériaux les plus appréciés pour la fabrication de la vaisselle, les récipients de laboratoire, les éléments sanitaires, les isolateurs électriques, etc. Du point de vue chimique, ces matériaux sont constitués essentiellement d'alumine et de silice, avec de petites quantités de potassium.

On les obtient en chauffant à une température élevée (de 1 400 °C à 1 500 °C) des mélanges formés de deux parties de kaolin pur à grain fin, une partie de feldspath et une partie de quartz. Cela donne les porcelaines dures appelées également porcelaines feldspathiques ; en utilisant moins de kaolin, on obtient les porcelaines tendres, tandis qu'en diminuant la quantité de feldspath on obtient les porcelaines destinées aux laboratoires de chimie (car le feldspath incorporé à la pâte joue le rôle de fondant).

L'émail qu'on utilise pour recouvrir la surface des porcelaines — et qui doit lui aussi subir la cuisson — ne diffère pas beaucoup de ces dernières par sa composition. Les principales propriétés d'un émail doivent être l'élasticité, la dureté, une faible fusibilité ; de plus il ne doit pas former de bulles à la cuisson. L'émail doit en outre avoir le même coefficient de dilatation que le matériau à émailler ; autrement dit, il doit subir les mêmes variations de volume en fonction de la température.

La cuisson des porcelaines se fait en deux temps : une première cuisson permet d'éliminer l'eau présente dans le kaolin et provoque le durcissement des objets. Pour les porcelaines dures cette cuisson appelée « dégourdi » se fait vers 1 000 °C, alors que la température requise pour la porcelaine tendre est de 1 250 °C. On obtient ainsi le « biscuit », c'est-à-dire une porcelaine poreuse : après émaillage on effectue une deuxième cuisson à 1 400 °C dans le cas des porcelaines dures et seulement 1 000° pour les porcelaines tendres.

Dans la porcelaine, il se forme après cuisson un nouveau minéral, la mullite (3 Al_2O_3, 2 SiO_2). Il représente 25 % de la pâte, tandis que 75 % des matériaux sont vitreux. Compacte et blanche, la porcelaine se distingue des autres produits céramiques par son aspect translucide, c'est-à-dire par sa demi-transparence à la lumière.

Les porcelaines orientales, dont les plus célèbres sont les chinoises et les japonaises, sont plus tendres et contiennent moins de kaolin dans leur pâte ; elles sont plus compactes et fondent plus facilement, exigeant donc une température inférieure pour leur cuisson. Inventée par les Chinois, la porcelaine semble avoir été introduite en Europe à l'époque des Croisades. Des indications fournies par Marco Polo sur la composition de la pâte, la découverte de gisements de kaolin et les progrès réalisés dans le domaine des hautes températures ont permis à partir du XVIIe siècle la création de très nombreuses manufactures en Angleterre, en Allemagne, aux Pays-Bas, en France, en Italie et au Portugal (parmi les plus célèbres il faut citer les manufactures de Sèvres et de Limoges).

LES CÉRAMIQUES, LE GRÈS ET LA FAIENCE

Les faïences sont des produits très connus dont l'apparence n'est pas sans évoquer la porcelaine ; toutefois elles sont fabriquées avec du kaolin moins pur, et contiennent plus de quartz, ainsi qu'une certaine quantité de calcaire ; elles sont cuites à des températures souvent inférieures ; elles ne sont pas translucides et présentent une structure poreuse à grain plus gros. Recouvertes d'un émail mat ou brillant, elles sont utilisées pour la fabrication d'assiettes. La vaisselle de Faenza est particulièrement célèbre ; c'est d'ailleurs du nom de cette ville que vient le terme de faïence.

Les majoliques sont des poteries peintes avec des émaux métalliques, fabriqués à base de bioxyde d'étain. Elles présentent souvent une assez grande valeur artistique et commerciale. Après l'Orient, l'Europe a vu surgir des manufactures célèbres de produits céramiques dans de nombreuses localités : Capodimonte et Faenza, en Italie, Delft, en Hollande ; d'autres fabriques existent en Angleterre, en Allemagne et en France.

Citons, enfin, d'autres produits céramiques se prêtant plus ou moins bien à la fabrication d'objets d'art, mais qui ont une grande importance en raison de l'usage très courant dont ils sont l'objet. Le plus connu est le grès. C'est un produit qui a des propriétés intermédiaires entre les faïences et les porcelaines. Cuit à une température élevée, il est utilisé principalement pour fabriquer des tuyaux, des siphons, des raccords, des appareils sanitaires, des récipients pour l'industrie chimique (car il a une excellente résistance aux agents chimiques), des conduites d'égout ainsi que des carreaux pour revêtements de sol et de mur.

Enfin il convient de rappeler que, de nos jours encore, des céramistes de talent travaillent sans cesse à la mise au point de nouvelles pâtes avec lesquelles ils réalisent des œuvres d'une très grande beauté.

LES SABLES

Les sables sont des roches sédimentaires, incohérentes, formées de très petits fragments de minéraux.

On observe une très grande diversité dans la couleur des sables : celle-ci est habituellement claire (blanc, beige, rose ou jaune) quand il s'agit de sable siliceux, même si celui-ci renferme des fragments de calcaire ou de feldspaths; elle peut, toutefois, être gris foncé et même noire lorsque le sable est riche en minéraux sombres, comme c'est le cas sur les plages de la mer Tyrrhénienne.

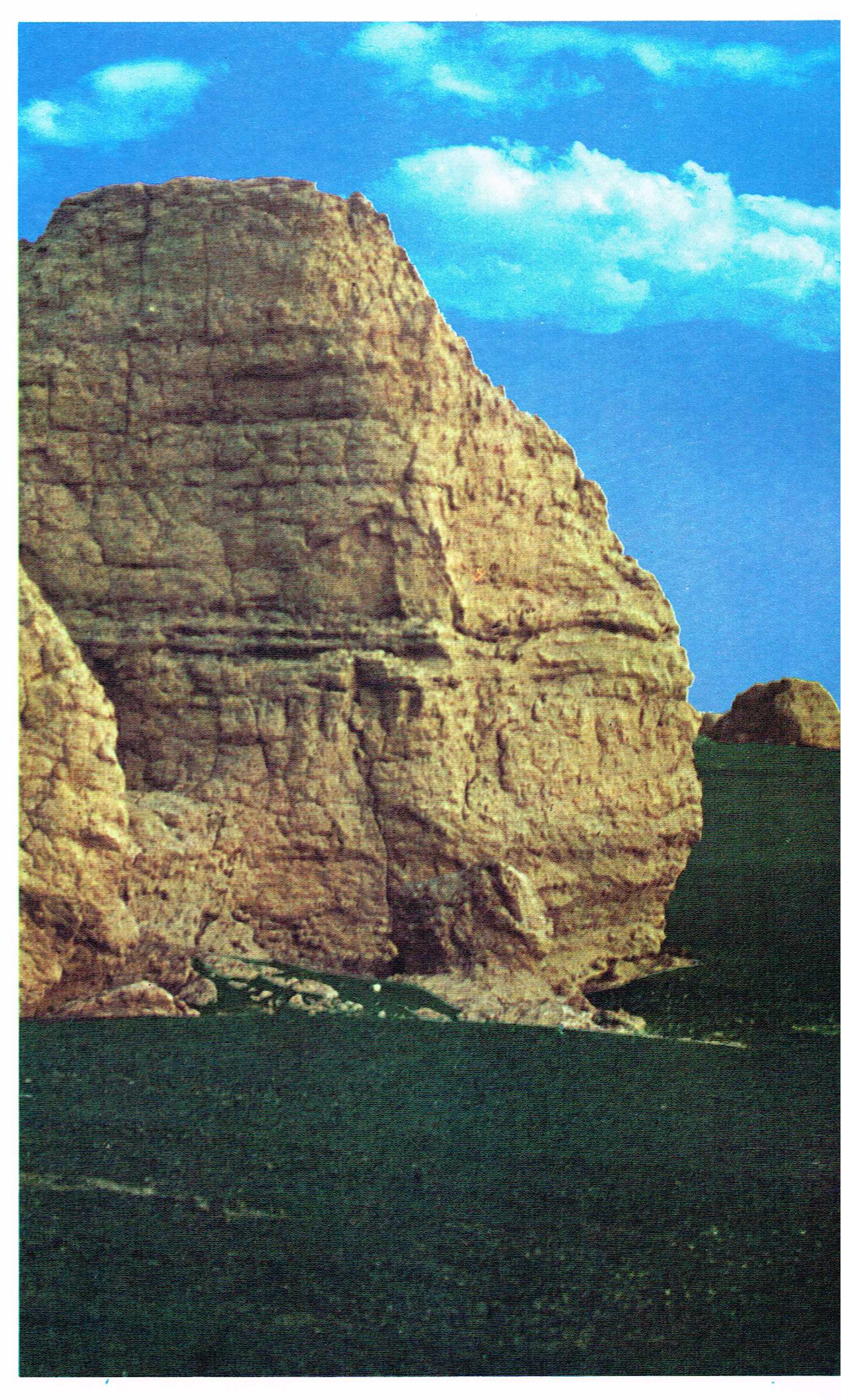
Les sables proviennent de la désagrégation de différents types de roches qui ont été soumises à l'action érosive des agents atmosphériques. Ceux-ci provoquent essentiellement la fragmentation; les eaux de pluie exercent une action dissolvante sur certains minéraux dont la disparition rend la roche friable; le gel et le soleil par suite de la dilatation ou de la contraction qu'ils entraînent rompent les masses rocheuses; le vent enfin, sous l'impact des poussières qu'il véhicule, joue le rôle d'abrasif, tandis que les eaux des torrents font s'entrechoquer les galets qui encombrent leur lit et que les glaciers agissent à la manière d'un broyeur.

Il résulte de ces diverses actions une lente destruction des matériaux qui constituent les roches, dont seuls sont épargnés les minéraux les plus durs et ceux qui résistent le mieux à l'effet dissolvant des eaux. Ainsi le quartz, qui possède une grande dureté et qui est peu soluble, résiste très bien aux phénomènes d'altération; comme, de plus, c'est un élément majeur de nombreuses roches, il constitue la part la plus importante des sables. Parmi les nombreux autres minéraux qui peuvent se trouver mêlés au quartz, on peut citer : la muscovite, les feldspaths et la dolomite, ainsi que des minéraux lourds tels que le zircon, la monazite, le rutile, l'ilménite et l'hématite.

Les sables feldspathiques sont assez rares, car ces minéraux sont facilement altérables; la présence de feldspaths dans un sable est la preuve que l'érosion et le transport ont été très limités; les dépôts qui sont les plus riches sont ceux qui se trouvent dans des zones protégées des régions montagneuses. Les micas et les minéraux « lourds » sont présents en plus ou moins grande quantité selon leur abondance dans la roche dont sont issus les sables. On trouve aussi dans les sables des fragments de roches, souvent siliceuses, et des restes organiques tels que des coquilles d'animaux marins (surtout siliceuses ou calcaires).

En revanche, si l'on excepte les argiles et la glauconite, les minéraux « autigènes », c'est-à-dire nouvellement formés, sont assez rares dans les sables et dans les roches gréseuses. Les éléments détritiques étant de taille très variable, on réserve le nom de sable à ceux dont les dimensions sont comprises entre un dixième de millimètre et deux millimètres; ceux qui sont plus petits constituent les pélites, ceux qui sont plus grossiers forment les graviers et les cailloutis.

D'après leur composition, on distingue : les sables quartzeux, les sables calcaires (les uns et les autres sont souvent impurs), les sables feldspathiques, les sables quartzo-argileux et argilo-feldspathiques (contenant parfois des fragments de roche). Les plus répandus sont de loin les sables quartzeux, puis les sables calcaires; ces derniers sont caractérisés par la coloration variable que leur confère la présence d'impuretés. En revanche, les sables provenant de roches basiques sont rares; ils sont habituellement très sombres et se rencontrent sur les plages situées dans des régions volcaniques (il y en a près d'Agde dans le Languedoc).



Formations rocheuses dans le désert des environs de Zahédan (Iran).

Si l'on tient compte du mode de formation des dépôts de sable, on distingue essentiellement des dépôts éluviaux, dus à l'accumulation sur place des matériaux provenant de la désagrégation des massifs rocheux, et des dépôts alluviaux qui résultent du transport qui peut s'effectuer sur de très longs parcours.

Parmi ces derniers on reconnaît : des dépôts morainiques, dus à l'action des glaciers (existant surtout dans les pays nordiques et les régions montagneuses) ; des dépôts fluviatiles (habituellement situés dans les méandres des cours d'eau) ; des dépôts lacustres (occupant souvent l'emplacement de lacs asséchés et fournissant un sable de très bonne qualité) ; des dépôts éoliens, dus à l'action du vent (formant d'immenses étendues dans les déserts ou dans des régions autrefois désertiques), et des dépôts littoraux formant les deltas et les plages.

Notons tout de suite que le sable, matériau incohérent que le vent et les eaux déplacent très facilement, acquiert une certaine cohésion lorsqu'il est mouillé. Quand il est sec, le sable se laisse facilement modeler par le vent qui le répand sur de vastes contrées et forme des dunes empêchant toute culture. Ce phénomène revêt une ampleur considérable dans les déserts des régions sahariennes, que les Arabes appellent « ergs ». La formation de ces immenses étendues de sable s'opère avec une incroyable rapidité, sous l'action des écarts très importants de température entre le jour, très chaud, et la nuit, souvent très froide, qui font « exploser » les roches avec un bruit ressemblant à des coups de feu.

C'est ainsi que, des grands massifs rocheux qui affleuraient sur toute la surface de ce territoire, il ne reste aujourd'hui que quelques « îlots » formés de roches plus résistantes (ces îlots sont les massifs du Tibesti et du Tassili) ; les roches, en se brisant en blocs de différentes dimensions, donnent lieu à la formation de « hamadas » ou déserts de pierre. Sous l'action de cours d'eau à caractère torrentiel, et sous celle des vents, s'effectue une séparation des fragments ; les grains les plus fins et les plus légers sont emportés tandis que subsistent sur place les éléments grossiers.

Le vent est sans conteste le grand façonneur du visage du désert : c'est lui qui est le responsable de la formation des dunes, amoncellements de sable offrant aux vents dominants leur flanc le plus incliné. Elles sont disposées en demi-cercles successifs, de telle sorte que, au sommet d'une colline, correspond, dans le demi-cercle suivant, un creux. Poussées par les vents, les dunes se déplacent et envahissent les oasis, étouffant la végétation déjà si réduite.

Exemple de « plage noire » à Praia a Mare, sur les côtes de Calabre.

C. Bevilacqua

Le problème que pose la fixation des dunes a une importance vitale ; aussi, dans de nombreuses régions, a-t-on envisagé différentes solutions, qui consistent surtout à planter des arbustes capables de résister à des conditions aussi rigoureuses. Peu à peu, ces arbustes fixent les dunes par leurs racines et assurent la formation d'une couche d'humus apte à recevoir des cultures.

LES DIFFÉRENTS TYPES DE SABLES

Le plus répandu est le sable constitué de quartz presque pur : il est de couleur blanche, parfois légèrement coloré par des impuretés dont les principales sont les oxydes de fer. Il existe un type particulier de sable siliceux, blanc et très fin, formé de squelettes siliceux de végétaux et d'animaux marins, comme les diatomées et les radiolaires ; une variété est connue sous le nom de « tripoli » ou « farine fossile ». Capables d'absorber de grandes quantités de liquides, ces sables connaissent des emplois particuliers, notamment comme filtres. En outre, on les utilise dans l'industrie chimique et dans la fabrication des explosifs (la « farine fossile » sert à préparer la dynamite).

Les autres sables siliceux, lorsqu'ils sont particulièrement purs, sont largement employés dans la fabrication du verre ; l'industrie métallurgique les utilise pour réaliser les moules dans lesquels est coulée la fonte ; ils servent en outre pour filtrer les eaux, et comme abrasifs (car le quartz est un minéral d'une remarquable dureté).

Les sables calcaires, également très répandus, présentent des colorations diverses. Le sable qui provient de la démolition des récifs coralliens et qui forme les plages des mers tropicales, célèbres par leur blancheur, est un type particulier de sable calcaire, remarquable par sa pureté.

Les sables feldspathiques, formés généralement de grains plus grossiers que les sables siliceux, ont une coloration rose ; on les voit souvent près des roches granitiques partiellement érodées par les eaux. Lorsqu'ils sont purs, on les utilise dans la fabrication des céramiques. Les roches basiques forment des sables riches en composés de fer et de magnésium, ce qui leur confère une coloration grise, souvent foncée ; ils peuvent contenir des éléments très recherchés, comme le titane ou d'autres éléments encore plus rares.

EMPLOIS DES SABLES

Tous les types de sables peuvent servir de matériau inerte pour la préparation de mortier de chaux ou de ciment. Mais on utilise surtout le sable de rivière, qu'un tamisage préalable a séparé en plusieurs qualités selon la grosseur des grains. Mis dans des sacs, le sable permet de construire rapidement des digues de fortune contre la crue des fleuves ou des remparts de protection contre les explosions.

On lui connaît quelques emplois curieux dans le passé. Ainsi, avant l'apparition du papier buvard, du sable très fin était utilisé pour sécher l'encre ; il servait aussi dans des sabliers employés pour mesurer le temps. L'industrie du verre l'utilise aujourd'hui pour dépolir le verre et l'industrie métallurgique s'en sert dans un type particulier de traitement des surfaces, appelé sablage. Enfin, le sable est largement utilisé dans la construction des routes, et, répandu sur le verglas, il facilite la circulation automobile en hiver.

Enfin, il ne faut pas oublier certains emplois thérapeutiques du sable : les bains de sable chaud se sont révélés efficaces dans le traitement de certaines affections ostéo-articulaires.

On sait aussi que certains sables sont susceptibles de contenir des minéraux précieux, or, platine ou différentes pierres précieuses. Ces sables sont transportés par les rivières qui naissent de massifs montagneux particulièrement riches en ces minéraux. Ainsi, à Ceylan et en Birmanie, les sables recèlent parfois des gemmes, telles que saphirs et rubis. Les gens qui s'adonnent à la recherche de ces minéraux connaissent très bien les anses des fleuves où le courant est susceptible de déposer le précieux butin ; le sable est lavé dans des récipients spéciaux, bas et larges, appelés « batées », qui permettent de séparer les minéraux en favorisant l'élimination des matériaux les plus légers.

EAUX MINÉRALES ET EAUX THERMALES

Les eaux qui jaillissent du sol sont remarquables, et dès l'Antiquité l'intérêt qu'elles représentent pour l'homme s'est fait ressentir. En effet, dans la Gaule conquise par les Romains, des sources ont été captées, alimentant des établissements réservés aux soins du corps (à Luxeuil-les-Bains, existent dix-huit sources salines et chaudes et les ruines d'une ville gallo-romaine).

On désigne couramment sous le nom d'« eau minérale » toutes les eaux qui sourdent du sous-sol. Cependant, si ce terme reflète bien leur provenance, une comparaison rapide entre les différentes sources montre qu'il existe de très grandes variations, physiques ou chimiques.

LES PROPRIÉTÉS DE L'EAU

L'eau est le solvant de nombreuses substances : quantité de sels et divers gaz peuvent se dissoudre dans l'eau. Ce pouvoir varie, cependant, en fonction de la température et de la pression ; la solubilité des sels est plus grande à chaud, tandis que celle des gaz augmente avec la pression. La présence de certains gaz favorise également la dissolution de quelques sels ; ainsi le carbonate de calcium est plus soluble dans les eaux chargées de dioxyde de carbone.

Enfin, l'eau, chimiquement pure, manifeste une grande agressivité à l'encontre des composés minéraux ; pour cette raison elle n'existe pas dans la nature. L'eau de pluie même, bien que résultant d'une distillation naturelle, n'est pas totalement dépourvue de substances étrangères, puisque, en se condensant, elle se charge de gaz pris dans l'atmosphère. Par ailleurs, après une chute de pluie, tandis qu'une partie de l'eau ruisselle le long des pentes et va grossir le cours des rivières, une autre pénètre dans le sol et migre en profondeur en imbibant les roches poreuses jusqu'à ce que l'étanchéité d'une couche de terrain l'arrête. Il se forme alors une nappe aquifère.

Quand les formations géologiques sont entaillées par des vallées sur les flancs desquelles affleurent des roches imperméables que surplombent des terrains poreux, on rencontre des sources réparties au long du contact entre les deux types de roches.

L'eau qu'elles fournissent est généralement froide. Elle contient en solution des gaz atmosphériques (c'est-à-dire de l'oxygène, de l'azote et du dioxyde de carbone) ainsi que des ions empruntés aux roches placées au contact de la nappe ; il s'agit le plus souvent de calcium et de magnésium.

La quantité de sels dissous peut varier dans de larges proportions puisqu'en moyenne le résidu sec pour un litre est compris entre 1 et 25 décigrammes. Ainsi, certaines eaux plus « dures » que d'autres déposent, par chauffage, des encroûtements sur les parois des récipients.

Quand les eaux météoriques ne rencontrent en circulant dans le sol que des roches pauvres en éléments solubles, elles sont presque dépourvues de minéralisation ; on les appelle alors « eaux oligo-minérales ».

Dans certains cas, en raison de la structure des couches géologiques (c'est-à-dire leur géométrie), l'eau en s'infiltrant dans le sol s'y trouve emprisonnée, formant alors des nappes captives, exploitées soit par puits, soit par forage ; quelquefois ces puits jaillissent spontanément (puits artésiens).

Enfin, l'eau des nappes souterraines peut rencontrer dans le sol des roches qui constituent de gigantesques filtres déterminant leur parfaite limpidité.

Toutes ces eaux, dites « minérales », reçoivent des qualifications diverses selon les substances qu'elles renferment :



L' « Old Faithful Geyser », célèbre soufflard situé dans le parc national de Yellowstone (Wyoming, U.S.A.).

— *les eaux salines contiennent du chlorure de sodium;*
— *les eaux amères, des sels de magnésium;*
— *les eaux sulfureuses, du dioxyde de soufre;*
— *les eaux acidulées, du dioxyde de carbone;*
— *les eaux ferrugineuses, des sels de fer.*

Il existe par ailleurs un nombre important de sources jaillissantes qui se distinguent des précédentes par leur minéralisation souvent forte et leur température élevée. Les eaux qu'elles fournissent, appelées « eaux thermo-minérales » ou « thermales », sont souvent captées soit pour l'énergie qu'elles permettent de recueillir, soit en raison de leurs propriétés thérapeutiques.

CONSTITUANTS ET TEMPÉRATURE DES EAUX

Comme les eaux minérales, les eaux thermales contiennent des sels et des gaz en solution. Les anions les plus fréquemment rencontrés dans les eaux thermales sont les ions : chlorure, bromure, sulfate, hydrogéno-carbonate, iodure et fluorure. Quant aux cations, on note la présence presque constante de sodium et fréquente de magnésium, de potassium, de lithium, de calcium, de fer, de strontium et d'aluminium. Signalons en outre la présence de substances particulières telles que l'acide borique, qui est exploité en Toscane en raison de son abondance dans l'eau des soufflards, et la silice colloïdale qui produit des dépôts auprès de nombreuses sources et geysers. Les gaz que l'on rencontre habituellement sont : le dioxyde de carbone, le sulfure d'hydrogène, l'azote et sous forme de traces les gaz rares (hélium, néon, argon, krypton), le méthane et l'hydrogène. L'extrême abondance du dioxyde de carbone est pour le moins singulière; ainsi la source de Boussange, près de Vichy, a un débit de 800 litres de ce gaz à la minute pour 200 litres d'eau.

Parlons maintenant de la chaleur des eaux thermales. Certaines sources jaillissent à une température élevée; ainsi à Chaudes-Aigues (Cantal) l'eau atteint 81 °C, tandis qu'aux États-Unis, dans le parc de Yellowstone, de nombreux geysers projettent par intermittence des jets d'eau bouillante.

Le « Monarch Geyser », cratère du « Norris Geyser Basin », parc national de Yellowstone (Wyoming, U.S.A.).

S.E.F



On sait que les mesures effectuées dans le sous-sol, notamment dans les puits de mines et dans les forages font apparaître une augmentation progressive de la température à mesure que la profondeur s'accroît. C'est le « gradient géothermique ». Toutefois, la variation n'est pas la même en tout lieu; elle est plus faible dans les zones tectoniques anciennes qu'à proximité des aires volcaniques récentes ou des jeunes chaînes de montagnes. En moyenne ce gradient est de 1 °C pour 30 mètres, ses valeurs extrêmes sont de l'ordre de 1 °C pour 10 mètres et 1 °C pour 80 mètres.

Par ailleurs, l'activité volcanique, en faisant circuler à travers l'écorce terrestre des masses de roches très chaudes, peut, au voisinage des conduits empruntés par la lave, provoquer un réchauffement important des roches. De même l'accumulation de matériaux radioactifs, comme cela vient d'être mis en évidence au Gabon, réalise parfois de véritables réacteurs nucléaires naturels qui dégagent dans leur voisinage une grande quantité de chaleur. On peut donc penser que l'eau des sources thermales est une eau d'origine météorique, qui en circulant dans l'écorce terrestre a pu emprunter aux roches qu'elle traverse l'énergie nécessaire pour se réchauffer.

Dans le cas où l'échauffement est seulement dû au gradient géothermique, il faut que l'eau puisse s'enfoncer à une profondeur de l'ordre de 2 000 à 3 000 mètres. Elle est alors capable de se minéraliser au contact des roches. Cependant il faut que la remontée se fasse rapidement, sinon lors de la traversée de terrains de plus en plus froids, au voisinage de la surface, elle perdrait sa chaleur et se déminéraliserait.

Une autre difficulté concerne les causes qui permettent à l'eau, bien que soumise à l'action de la pesanteur, de remonter. Il faut, en effet, deux cheminements distincts : l'un, pour la descente; l'autre, pour la montée. Venant de grande profondeur, l'eau ne parvient en surface que si les pertes de charge qui résultent du freinage sur les parois du chenal sont compensées par les forces mises en jeu. Or celles-ci sont déterminées par : la différence de densité entre le fluide froid et le fluide chaud, l'action pressante exercée par la vapeur formée par suite du réchauffement et le poids de la colonne d'eau froide. En tout état de cause le point d'émergence de la source doit donc se situer à une cote inférieure à celle de la zone de pénétration des eaux superficielles.

Ainsi l'hypothèse de l'origine météorique des sources thermales n'est pas très satisfaisante. Une autre théorie fait intervenir l'existence d'une eau qui aurait son origine dans les magmas profonds et que l'on appelle « eau juvénile ».

Cette eau apparaît comme le résultat de réactions qui ont lieu au cours des phénomènes de différenciation magmatique. Pour certains scientifiques, l'hydrogène proviendrait même de la matière constituant le noyau de la Terre, qui par suite d'une oxydo-réduction intervenant au niveau des roches de l'écorce terrestre profonde formerait de l'eau. La présence d'eau dans les produits rejetés par les volcans lors des éruptions (il peut y avoir jusqu'à 75 % de vapeur d'eau dans les gaz volcaniques) ainsi que les jaillissements qui se produisent lors de certaines éruptions attestent l'existence de l'eau juvénile.

Il devient dans ce cas plus facile d'expliquer la minéralisation des eaux thermales.

Il est donc logique de penser que, sous l'action de la pression qui règne dans les chambres magmatiques profondes, la vapeur d'eau tente de s'échapper, en migrant à la faveur des zones de faiblesse qui affectent la couverture, entraînant avec elle une partie des éléments présents (fluor, bore, chlore, soufre, lithium, strontium, sodium, potassium).

L'hypothèse d'une origine magmatique des eaux thermales s'accorde mieux avec la forte minéralisation qui les caractérise.

C'est en définitive une origine mixte qui semble devoir être retenue.

Cependant une telle conclusion ne doit pas apparaître comme définitive. D'autres études portant sur la teneur en certains isotopes des éléments contenus dans les eaux et les gaz sont nécessaires : elles fourniront ainsi des informations nouvelles sur la circulation des eaux dans le sol.

L'ASTRONOMIE - LA PHYSIQUE DU GLOBE

On considère l'astronomie comme la plus ancienne des sciences. Elle fut, dès ses débuts, pratique et utilitaire, liée à la résolution de certains problèmes en rapport avec les nécessités de la vie de chaque jour, comme l'établissement de calendriers, la mesure du temps, ainsi que nous le verrons dans les pages qui suivent. Naguère science d'observation, l'astronomie s'est enrichie de branches nouvelles, dont la radio-astronomie qui fera l'objet d'une de nos rubriques.
Nous verrons également que l'envoi d'engins spatiaux est bénéfique à l'astronomie, à la météorologie et que les photos prises à partir des satellites artificiels permettent de mieux connaître la Terre. Notre Terre, où se posent de délicats et permanents problèmes d'énergie ou de ressources, que nous évoquerons.

L'OBSERVATION ASTRONOMIQUE ET LES INSTRUMENTS DE L'ASTRONOMIE

L'observation du ciel a constitué pour l'homme, depuis les temps les plus reculés, un aspect très important de son activité spéculative, et constitue aujourd'hui un domaine important de la recherche scientifique. Ce type de recherche a presque toujours été lié à la résolution d'une série de problèmes concrets (établissement du calendrier, mesure du temps, prévision de phénomènes), en rapport direct avec les nécessités de la vie quotidienne ; songeons par exemple à l'agriculture et au besoin absolu de connaître le mécanisme des saisons pour les semailles ou les récoltes, à l'élevage, au commerce, et aux premiers trafics maritimes, qui supposaient la possibilité de s'orienter d'après la position des étoiles. D'autres motivations, telles que le désir de puissance, ne sont pas étrangères à cette recherche : imaginons le prestige que pouvait procurer la prévision d'un phénomène aussi terrifiant qu'une éclipse de Soleil.

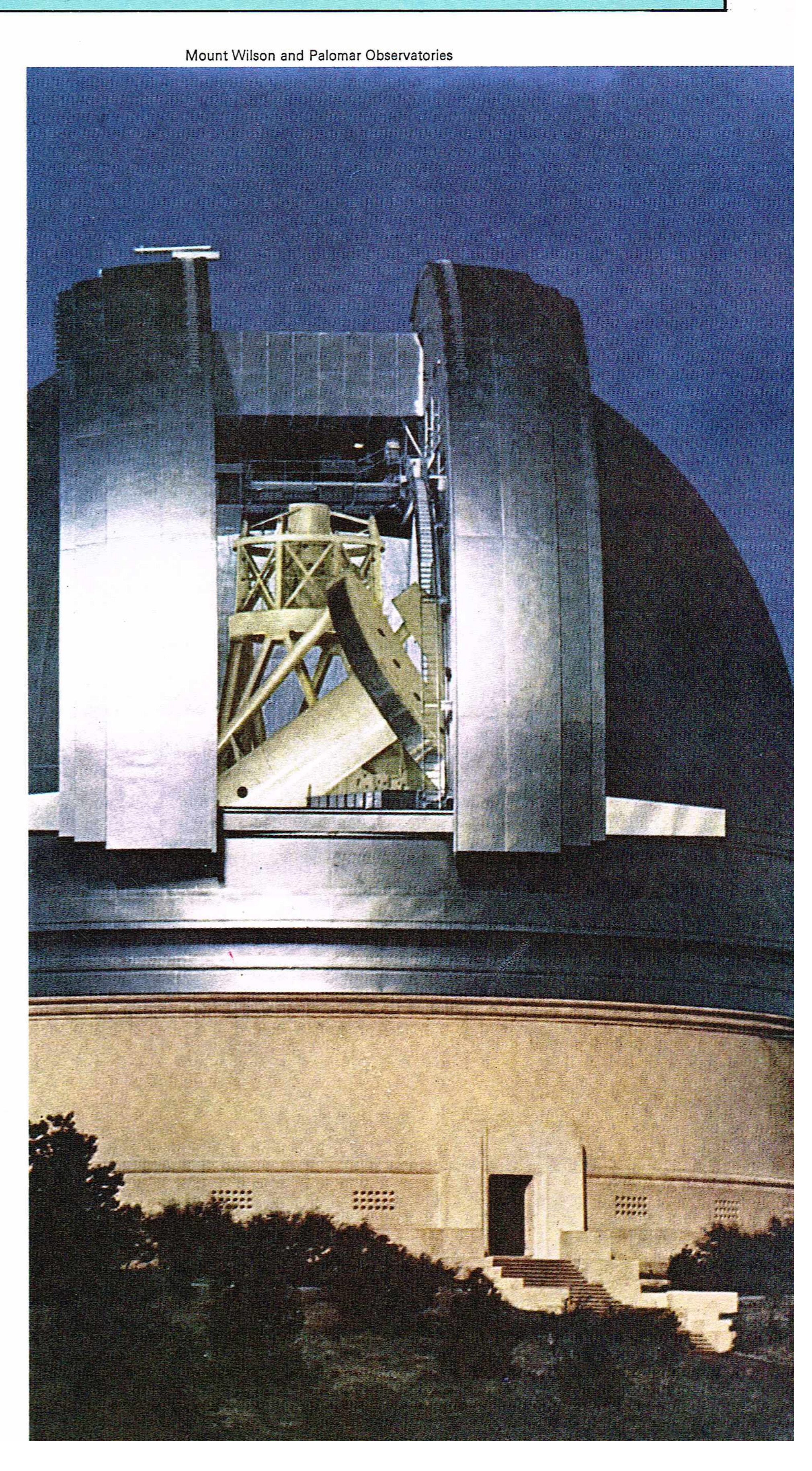
Les chroniques chinoises racontent que, durant le règne de Yao (XXIVe siècle av. J.-C.), on sélectionnait des spécialistes pour l'observation systématique des phénomènes célestes, le critère de sélection reposait sur une certaine prédisposition scientifique, et sur l'acuité visuelle. En effet, l'œil nu a été le premier instrument de l'observation astronomique et l'est demeuré jusqu'à la construction de la première lunette. Instrument qui est d'ailleurs d'une perfection étonnante, puisque, avec le concours de simples appareils de relevé des positions, comme la sphère armillaire et l'astrolabe, il a permis de reconnaître dans le ciel les planètes du système solaire jusqu'à Saturne, les constellations du zodiaque, de définir la position d'un grand nombre d'étoiles, et surtout de tirer de ces observations une série impressionnante de données : détermination (assez précise) de l'année tropicale, phases de la Lune, repérage des étoiles variables, mise en évidence de l'obliquité de l'écliptique, mesure du rayon terrestre et découverte de la précession des équinoxes. Cette liste n'est d'ailleurs pas limitative et ne concerne que les découvertes les plus spectaculaires.

LA SPHÈRE ARMILLAIRE ET L'ASTROLABE

Instruments d'astronomie très anciens, demeurés en usage jusqu'au XVIIe-XVIIIe siècle, on les utilisait pour déterminer la position des astres par la mesure de leur ascension droite, de leur déclinaison et de leur hauteur. La sphère armillaire était déjà connue à l'époque d'Ératosthène (IIIe siècle av. J.-C.). Constituée par des cercles métalliques concentriques portant une graduation, inscrits les uns dans les autres, quelques-uns fixes (représentant l'équateur, l'écliptique et un méridien), d'autres mobiles, l'armille permettait d'obtenir les coordonnées astronomiques des corps célestes.

Plus simple et plus maniable, l'astrolabe, de fabrication arabe, remonte probablement au IXe siècle ; l'exemplaire le plus ancien, qui date de l'an 912, est conservé à Paris. Il permettait la mesure de la hauteur d'un astre en le visant à travers une alidade tournant autour de l'axe passant par le centre du disque qui constitue le corps de l'instrument (disque portant sur le bord une graduation en 360°). Sur la face opposée à celle qui porte l'alidade, un système de lames (une pour chacune des latitudes géographiques établies) représentait la projection stéréographique des cercles de la sphère céleste, tandis qu'un deuxième disque tournant, dans lequel on avait percé la projection des étoiles les plus brillantes, permettait de

Mount Wilson and Palomar Observatories



La coupole du télescope Hale du mont Palomar, dont le réflecteur mesure 5 mètres de diamètre (copyright du California Institute of Technology).

reproduire assez fidèlement l'aspect de la sphère céleste au-dessus de l'observateur. Un perfectionnement considérable fut introduit plus tard par l'Arabe Al-Zarqâlî, qui, vers l'an 1070, fabriqua un astrolabe universel ne comportant qu'une seule lamelle, valable pour n'importe quelle latitude.

L'astrolabe permettait, une fois connue la position des étoiles, de résoudre rapidement les problèmes d'orientation. Aussi fut-il utilisé comme instrument de navigation jusqu'au XVIIIe siècle, avant d'être remplacé par le sextant.

LA LUNETTE DE GALILÉE ET LE TÉLESCOPE

L'invention de la lunette astronomique transforma profondément la vision du ciel. En 1609, Galilée, qui taillait lui-même les lentilles, réussit, après plusieurs tentatives, à réaliser une lunette capable de grossissements voisins de 30 fois. Dirigé vers le ciel, son instrument lui permit de découvrir les quatre principaux satellites de Jupiter. En 1611, Kepler publiait dans son Dioptrica *la théorie géométrique des lentilles, contribuant ainsi à dissiper la méfiance qui entourait tout instrument optique.*

Une limitation importante de la lunette astronomique était la présence d'aberrations chromatiques. Newton remplaça alors l'objectif par un miroir parabolique réfléchissant et construisit, en 1672, un remarquable instrument astronomique : le télescope à réflexion.

Plusieurs télescopes furent alors créés : certains étaient dotés de miroirs de grand diamètre, tel celui réalisé par Herschel en 1785, dont le miroir mesurait 122 cm de diamètre et le tube 12 mètres de long; mais une telle complexité, jointe au médiocre pouvoir réfléchissant des métaux employés, freina momentanément la généralisation du télescope. L'introduction des doublets achromatiques, qui résolvaient partiellement le problème de l'aberration chromatique des lentilles, éclipsa ainsi pendant quelque temps le télescope à réflexion. Plus tard, la difficulté de construire des lentilles de grand diamètre et les progrès accomplis dans la réalisation de grands miroirs paraboliques en verre revêtus d'un dépôt métallisé firent opter définitivement pour le télescope à réflexion.

Voyons maintenant comment fonctionne un télescope. Le rayonnement lumineux émis par un objet céleste est reçu par le miroir concave à profil parabolique et concentré en son foyer, où il peut être recueilli sur une plaque photographique. Plusieurs systèmes permettent de réaliser la vision directe. Le système conçu par Cassegrain consiste en un petit miroir convexe, de forme parabolique, qui concentre l'image agrandie vers le milieu du miroir plus grand, où est pratiquée une ouverture. Là l'image est recueillie par un oculaire normal. On peut aussi dévier l'image latéralement, à l'aide de miroirs plans (système Newton et Coudé), et l'observer à l'extérieur du tube, qui constitue le corps de l'instrument. Cette solution est particulièrement appropriée pour l'examen spectroscopique, qui exige des installations fixes de dimensions considérables.

Dans tous les grands télescopes modernes, le tube est remplacé par un treillis métallique monté sur un support. Dans le grand télescope « Hale » du mont Palomar, entré en service en 1948, le support peut tourner dans un sens, tandis que le bâti métallique constituant le tube peut tourner dans l'autre sens à l'intérieur d'un support. En combinant les deux rotations, il est possible d'explorer tous les points de la voûte céleste à travers l'ouverture de la coupole, également mobile, et de suivre les astres dans leur mouvement.

Le télescope Hale, avec les 5,08 mètres de diamètre de son miroir et ses 16,8 mètres de longueur focale, fut pendant plus d'un quart de siècle le plus grand télescope du monde. Mais il vient d'être détrôné par un télescope soviétique, installé dans le Caucase et mis en service en 1974. Doté d'un miroir de 6 mètres de diamètre et d'une longueur focale de 24 mètres, ce télescope a la particularité d'être placé sur un support alt-azimutal. Un ordinateur imprime au télescope, par l'intermédiaire de moteurs asservis, de petits mouvements en hauteur et en azimut, qui, judicieusement combinés, permettent à l'instrument de rester pointé sur l'objet céleste choisi. C'est cette particularité qui a permis la construction d'un télescope aussi gigantesque.

Le télescope de 102 cm de diamètre de l'observatoire astronomique italien de Merate (Côme).

M. Pedone



L'OBSERVATOIRE ASTRONOMIQUE

L'invention de la lunette astronomique et du télescope a modifié radicalement l'organisation de l'observatoire astronomique. Auparavant, lorsque l'œil était l'unique instrument d'observation, les observatoires étaient placés au sommet de grandes bâtisses. Le problème est aujourd'hui beaucoup plus complexe : il faut choisir un site qui soit à une certaine altitude, et où l'atmosphère soit peu turbulente, afin d'éviter les effets perturbateurs dus aux vents locaux ou aux grandes masses d'air qui circulent à haute altitude; les observatoires doivent aussi être éloignés des villes, afin d'éliminer les inconvénients résultant de la pollution atmosphérique.

Aujourd'hui, l'observation astronomique se divise en deux branches essentielles : l'astrométrie et l'astrophysique. Cette dernière étudie la structure, la composition et l'évolution des corps célestes par les techniques de l'observation optique, photographique et spectrographique; elle a reçu une nouvelle impulsion avec l'apparition d'un nouveau type d'instrument : le radiotélescope, qui a donné naissance à une nouvelle branche de l'astronomie : la radio-astronomie.

L'astrométrie, pour sa part, s'attache à déterminer la position et le mouvement des astres, avec en sous-produit la mesure précise du temps et certaines études géophysiques (mouvements de l'axe de rotation terrestre, variations de la vitesse de rotation, etc.).

Enfin, il nous faut dire un mot des satellites artificiels, dont l'emploi en astronomie a débuté le 7 décembre 1968 avec la mise en orbite du satellite américain OAO II (Orbiting Astronomical Observatory, *observatoire astronomique orbital); circulant sur une orbite terrestre, à environ 800 kilomètres d'altitude, un satellite de ce type peut accomplir toute une série d'observations et de mesures, en s'affranchissant des effets perturbateurs de l'atmosphère terrestre. On mesure l'importance de cet avantage si l'on songe qu'à l'observatoire du mont Palomar, dix ou quinze nuits par an seulement sont considérées comme parfaites pour l'observation optique et photographique du ciel.*

En outre, les satellites artificiels constituent le premier pas vers la réalisation de ce que de nombreux astronomes ont souhaité après les succès de l'ère spatiale, c'est-à-dire la possibilité d'étudier le cosmos à partir d'observatoires extra-atmosphériques. En effet, un instrument automatique n'est pas en mesure, et ne le sera sans doute pas avant longtemps, de remplacer l'homme, puisqu'il ne peut étudier que des phénomènes connus et prévus. Seul l'homme possède la faculté d'interpréter ce qu'il observe et d'exploiter au mieux les avantages offerts par les satellites artificiels. Les très nombreuses données que ceux-ci permettront de recueillir élargiront ainsi de manière importante le champ de nos connaissances sur l'Univers.

LES INSTRUMENTS DE LA RADIOASTRONOMIE

Science très jeune, la radioastronomie s'est déjà révélée comme un formidable moyen d'investigation pour la connaissance de la nature et de l'évolution de l'Univers ; elle a enregistré au cours des vingt années de son développement une série impressionnante de succès, jusqu'aux récentes découvertes des quasars et des pulsars.

La radioastronomie est née presque par hasard, grâce à l'habileté d'un technicien et à la passion d'un radioamateur. Karl Jansky, ingénieur américain d'origine polonaise, fut chargé par la compagnie Bell Telephone *d'étudier l'origine des bruits de fond émis sur la longueur d'onde de 14,6 mètres, bruits qui perturbaient les circuits téléphoniques transocéaniques. En 1932, Jansky découvrit que ceux-ci venaient d'une région bien précise de la voûte céleste, correspondant à la constellation du Sagittaire. Dans un premier temps, du fait que la source radio se déplaçait d'est en ouest au cours de la journée, Jansky avait supposé que les bruits provenaient du Soleil, erreur due aussi au fait que ses premières observations avaient été effectuées au mois de décembre, époque où le Soleil se trouve justement projeté sur la constellation du Sagittaire. La découverte faite par Jansky, à savoir que les astres rayonnaient non seulement dans la bande dite « visible », mais aussi en radio, infiniment plus vaste que la fenêtre optique (de 1 mm à 50 m de longueur d'onde au lieu de l'intervalle d'un millier d'angstrōms dans le visible), fut longtemps ignorée et sous-estimée.*

Grote Reber, radioamateur américain, accorda en revanche à cette découverte toute l'attention qu'elle méritait ; il fabriqua en effet un paraboloïde de 9 m de diamètre, qu'il installa dans son jardin, et, à partir de 1937, entreprit une exploration radio du ciel, notant minutieusement l'origine des « bruits » enregistrés. En 1940, grâce à des observations faites sur la longueur d'onde de 187 cm, il réussit à dessiner la première carte radio de la Galaxie. Naturellement, les observations de Reber manquaient de précision ; le pouvoir séparateur d'un radiotélescope est en effet donné, comme pour le télescope optique, par le rapport entre la longueur d'onde et les dimensions de l'antenne, rapport qui fournit la mesure, en radians, de l'angle minimal sous lequel deux objets peuvent être « séparés ». Le pouvoir séparateur d'un radiotélescope, qui travaille sur des longueurs d'onde très grandes par rapport aux télescopes optiques, est donc nettement inférieur ; en revanche, le radiotélescope permet d'explorer beaucoup plus en profondeur, justement en raison de la grande longueur d'onde des radiations qu'il capte.

La radioastronomie commença à s'affirmer dès la fin de la Seconde Guerre mondiale et conduisit en 1951 à cette très importante découverte que fut la réception de la raie 21 cm émise par l'hydrogène neutre à basse température. La découverte de ce rayonnement permit alors d'étudier la structure générale de la Galaxie, puisque l'hydrogène est le principal constituant du gaz interstellaire, et d'évaluer la densité de ce dernier sur la base de l'intensité de la radiation ; enfin, il fut possible de mesurer la vitesse radiale des nuages de gaz en observant le décalage par effet Doppler des émissions enregistrées.

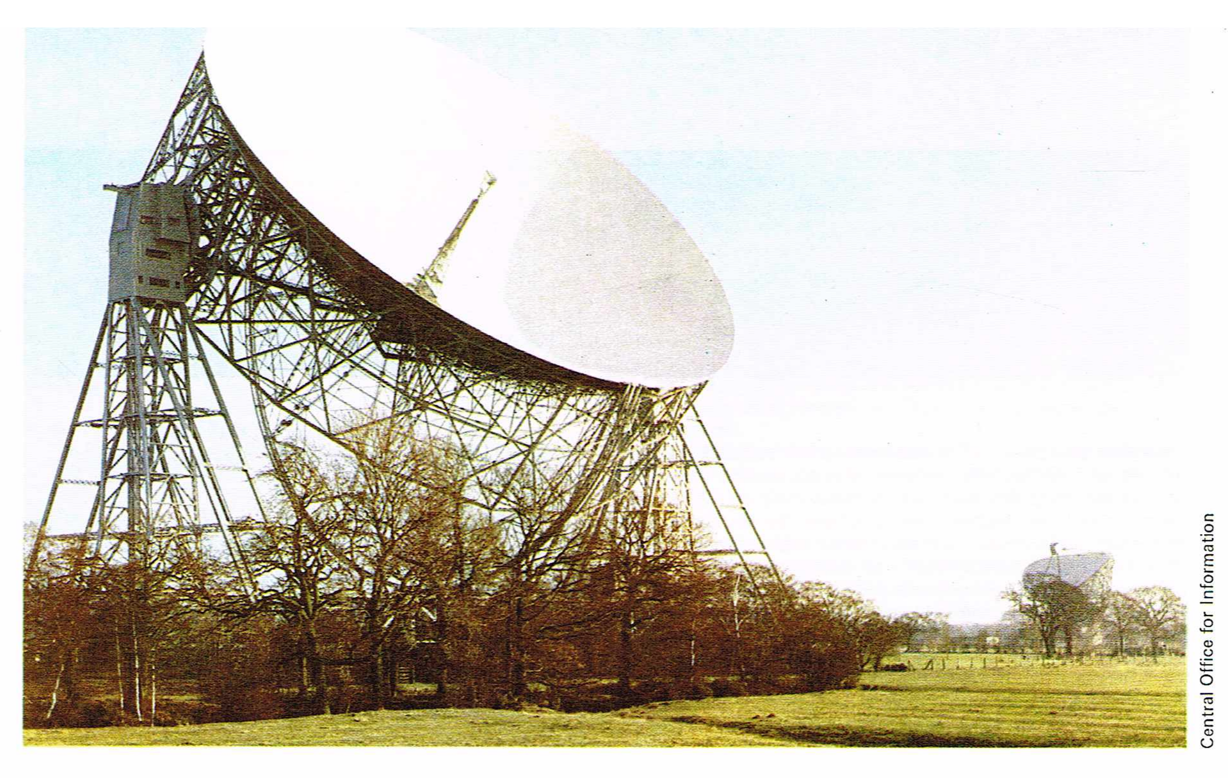
DU PARABOLOIDE DE REBER AUX RADIOTÉLESCOPES MODERNES

On assista ensuite à une intensification des études et des recherches pour construire des radiotélescopes de plus en plus puissants. En 1957, entrait en service Mark I, le célèbre radiotélescope de Jodrell Bank, installé dans la

Archives Radaelli



Le radiotélescope de Parkes, Australie, dont le paraboloïde orientable mesure 64 mètres de diamètre.

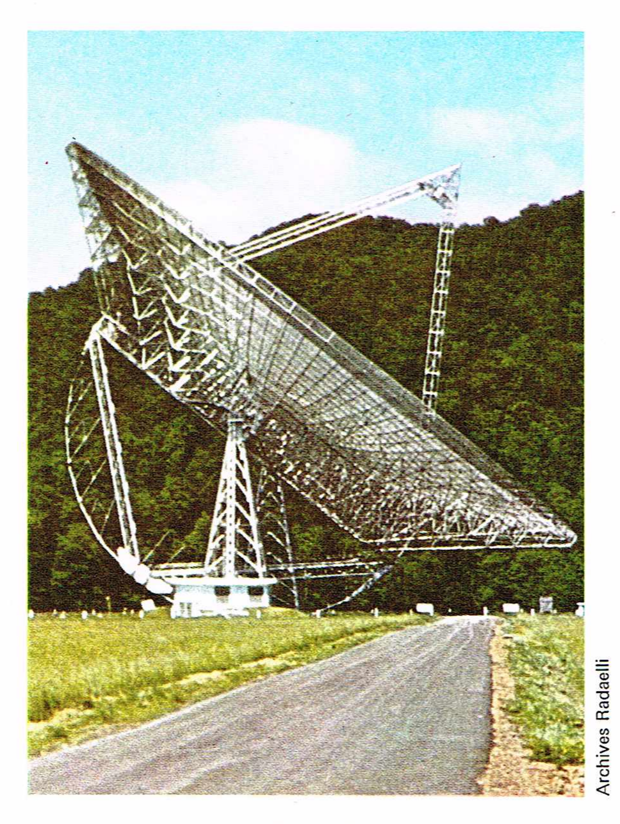


Central Office for Information

Mark I, le grand télescope anglais de Jodrell Bank, dont la popularité est due au rôle joué par cet instrument dans le domaine de l'exploration spatiale ; en effet, ce radiotélescope peut suivre les sondes spatiales et capter leurs signaux.

campagne du Cheshire, au sud de Manchester. Le réflecteur parabolique, qui mesure 76 mètres de diamètre, est constitué par des lamelles d'acier soudées ; sa surface, d'environ 8 000 m^2, permettrait à 20 000 personnes de s'asseoir dans l'immense cuvette. Quant au poids, il atteint 2 000 tonnes avec les structures.

Dans les paraboloïdes à surface compacte, pour la réception des hautes fréquences, il ne faut pas que les défauts de surface soient supérieurs à 1/16 de la longueur d'onde des radiations à recevoir. Pour les paraboloïdes à surface discontinue (paraboloïdes à grillage), les mailles ne doivent pas être espacées de plus de 1/8 de longueur d'onde, ce qui impose évidemment un certain nombre de difficultés de construction.



Archives Radaelli

Le radiotélescope de Green-Bank, Virginie occidentale, ayant un diamètre de 90 mètres. C'est le plus grand radiotélescope installé à Green-Bank par le National Radio Astronomical Observatory (N.R.A.O.).

Au nombre des plus grands télescopes paraboliques à surface discontinue, on compte ceux de Bonn en Allemagne fédérale (100 mètres de diamètre), de Green-Bank, Virginie occidentale (92 mètres de diamètre), de Parkes, Australie (64 mètres de diamètre), et de Stanford, Californie (48 mètres de diamètre) ; tous sont de construction récente.

Pour les radiotélescopes de dimensions plus réduites, il est possible d'adopter un montage équatorial, comme pour les télescopes optiques, montage qui permet la rotation d'est en ouest autour d'un axe parallèle à l'axe de rotation terrestre. C'est le cas, par exemple, pour les deux plus petits radiotélescopes de Green-Bank, de 42 et 25 mètres de diamètre.

Pour les radiotélescopes de grandes dimensions, il existe plusieurs systèmes de visée : des structures fixes et une antenne focale, mobile, offrant la possibilité d'explorer seulement un secteur de la voûte céleste (c'est le cas du radiotélescope de Nançay, en France) ; structures tournantes autour d'un axe horizontal reposant sur deux appuis, qui, à leur tour, peuvent se mouvoir sur un rail circulaire (radiotélescope de Jodrell Bank et de Stanford) ; structure totalement fixe, comme dans le grand radiotélescope d'Arecibo (Porto Rico), le plus grand du monde, dont le paraboloïde à mailles repose sur une cuvette naturelle de 300 mètres de diamètre (8 hectares !) ; dans ce cas, c'est la rotation terrestre qui assure un « balayage » naturel du ciel.

Enfin, il existe le radiotélescope du type croix de Mills, du nom de son inventeur. Deux rangées d'antennes sont disposées dans les directions est-ouest et nord-sud ; grâce à des dispositifs qui permettent de passer une centaine de fois par seconde de la liaison en phase à la liaison en opposition de phase des deux rangées d'antennes et des circuits amplificateurs, on obtient la modulation de la puissance que l'objet céleste envoie dans le carré formé par l'intersection des deux bras d'antennes ; un détecteur spécial identifie les sources ayant les mêmes fréquences que la perturbation de la liaison.

Avec les radiotélescopes de Mills, comme celui qui est installé à Medicina, près de Bologne (Italie), on obtient un pouvoir séparateur égal à celui d'un paraboloïde ayant pour diamètre la longueur des deux rangées d'antennes orientées, mais une surface efficace moindre (la surface géométrique n'étant pas la même).

Avec de plus puissants instruments, il est aujourd'hui possible d'explorer l'Univers jusqu'à environ 8 milliards d'années-lumière, distance pour le moins vertigineuse quand on songe qu'une année-lumière équivaut à 10 000 milliards de kilomètres...

LA MESURE DU TEMPS

Le temps régit toutes les activités de l'homme, aussi bien sa vie familiale et sociale que son activité scientifique et technique. Dès l'Antiquité, des exigences de caractère tant religieux que pratique amenèrent l'homme à élaborer des systèmes permettant de situer dans une échelle de temps naturelle le « moment » et la « durée » de certains phénomènes ou événements. Toutes les techniques et méthodes élaborées par la suite, et même de nos jours, n'ont d'autre but que de préciser ces deux aspects essentiels de la notion de temps.

Pour établir la durée d'un phénomène, il faut avant tout disposer d'une « unité de temps », qui satisfasse aux deux conditions suivantes : être rigoureusement constante et parfaitement reproductible. La détermination du moment auquel un phénomène se produit exige quelque chose de plus, car elle suppose la reproduction continue et constante d'un intervalle de temps, permettant d'établir une relation entre deux événements non simultanés.

Le phénomène naturel qui satisfait le mieux à cette exigence est celui des mouvements de rotation et de révolution de la Terre autour du Soleil. Ces mouvements déterminent les phénomènes apparents du lever et du coucher du Soleil, c'est-à-dire l'alternance jour-nuit, et le phénomène tout aussi évident de la succession des saisons et des années.

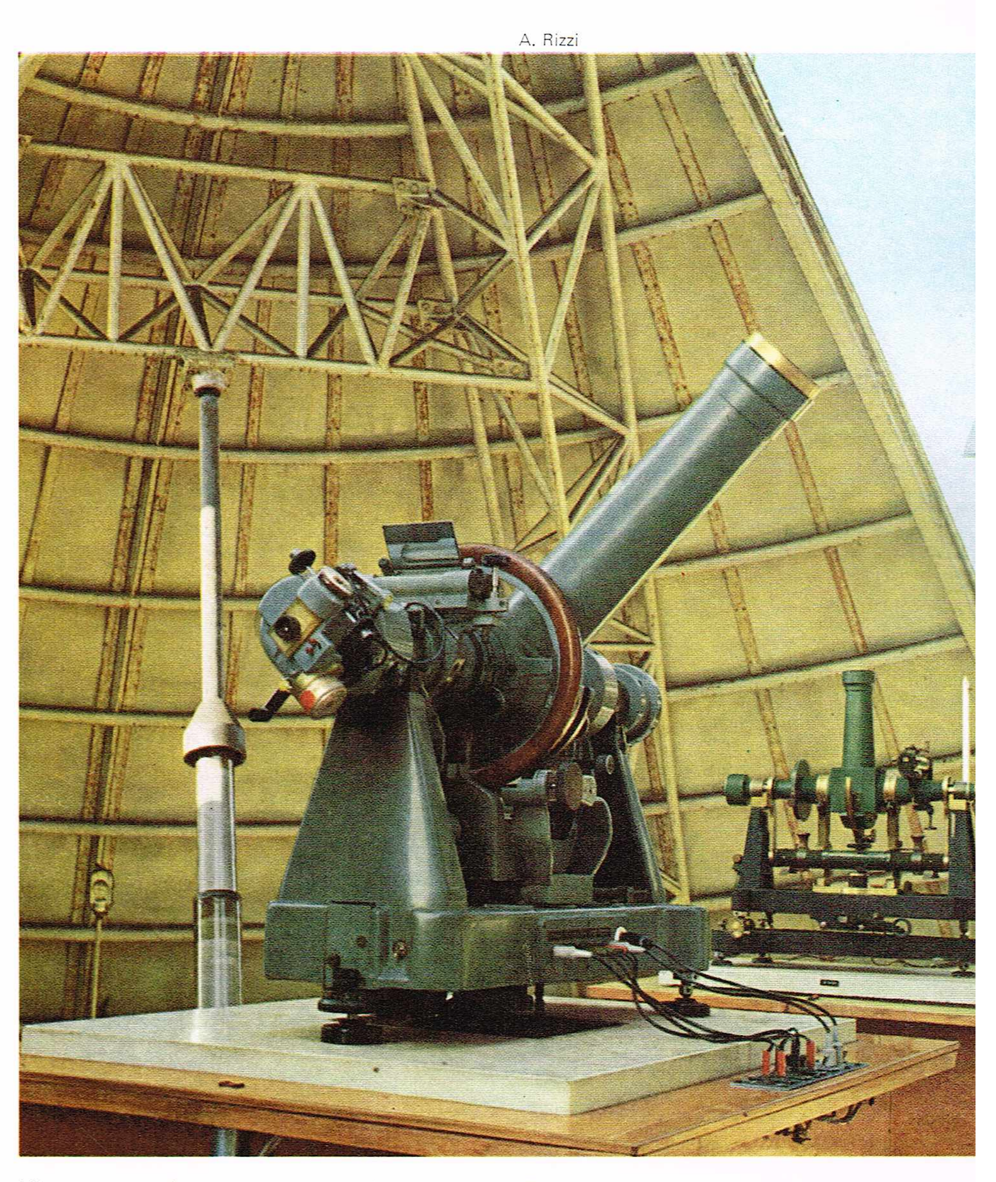
LA DÉTERMINATION ASTRONOMIQUE DU TEMPS

Ce sont donc ces phénomènes qui, dès l'Antiquité, ont fourni une échelle naturelle du temps, susceptible de constituer le fondement d'une « chronologie » universelle.

Parmi les instruments capables de réaliser en pratique une telle chronologie, le gnomon *est certainement le plus ancien. Constitué essentiellement d'un objet vertical (simple bâton ou obélisque) projetant l'ombre solaire sur un plan horizontal, il permettait en effet de déterminer durant le jour ce qu'on appelait le « temps solaire vrai ». Les Chinois l'utilisaient déjà sous la dynastie Yao, environ 24 siècles av. J.-C., tandis que dans l'Égypte ancienne, vers le XVe siècle av. J.-C., le gnomon était utilisé pour la mesure du temps et la constitution du calendrier. Plus tard, vers la moitié du VIe siècle av. J.-C., son emploi fut introduit en Grèce par les Babyloniens, et s'étendit à tout le bassin méditerranéen. Les* cadrans solaires *que l'on voit encore de nos jours sur quelques vieux édifices, et qui comportaient un bras incliné, dirigé suivant l'axe de rotation de la Terre, furent les successeurs naturels du gnomon. L'introduction des lignes horaires, tracées de différentes manières sur la surface de projection du bras, permit ensuite de déterminer l'heure solaire aux différentes périodes de l'année avec une remarquable précision.*

En même temps, se développaient les sphères armillaires, *destinées surtout à permettre la détermination du temps avec la précision rendue possible par la connaissance du mouvement apparent du Soleil et des étoiles ; il s'agissait de systèmes compliqués de cadrans de forme sphérique, munis de cercles métalliques gradués, orientés dans les plans horizontal, équatorial et écliptique. Elles étaient déjà largement utilisées à Alexandrie du temps d'Ératosthène (IIIe siècle av. J.-C.), mais furent ensuite progressivement remplacées en tant qu'instruments de mesure du temps, surtout après l'introduction des lunettes astronomiques (1609), par les* cadrans muraux. *Ceux-ci étaient constitués par un quart de cercle métallique gradué, de dimensions considérables (2 à 6 m de rayon), et fixés à une paroi verticale. Plus tard, avec les cadrans muraux méridiens, rigoureusement orientés dans la direction nord-sud (début du XVIIe siècle), les mesures de temps furent exclusivement fondées non plus sur la détermination du temps solaire, mais sur celle du temps sidéral, basé sur le mouvement des étoiles. Dans ce cas, le temps solaire était déterminé, indirectement mais avec une plus grande précision, sur la base des observations stellaires et de la connaissance du mouvement du Soleil par rapport aux étoiles. Un nouveau perfectionnement fut introduit plus tard (1689) par Römer, qui inventa un instrument semblable au cadran mural, mais de dimensions plus réduites, reposant sur un axe fixe tournant dans la direction est-ouest. Cet* instrument méridien, *perfectionné par la suite, représenta pendant plus de deux siècles le système le plus précis pour la détermination d'une échelle de temps astronomique (sidéral et solaire) ; aussi, surtout après l'introduction du micromètre impersonnel, conçu par Repsold en 1889, la précision intrinsèque dans les mesures de temps atteignit un ordre de grandeur de quelques dixièmes à quelques centièmes de seconde.*

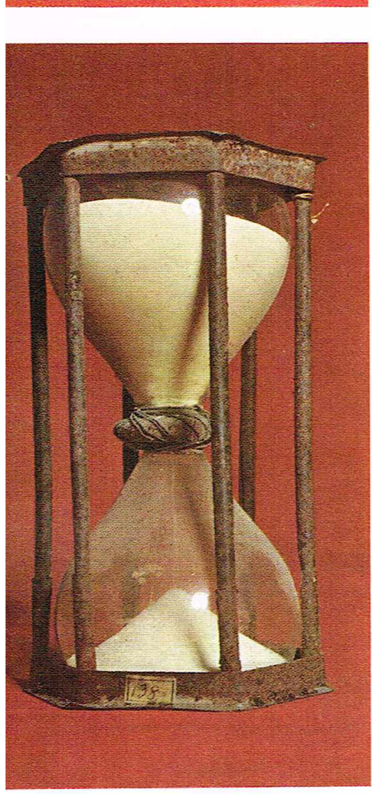
A. Rizzi



L'instrument des passages de l'observatoire Brera (Milan), utilisé dans les observations astrométriques et pour la détermination du temps local.



C. Bevilacqua



C. Bevilacqua

Un autre progrès fut réalisé en 1929 avec l'entrée en service, à l'observatoire de Washington, du premier tube photographique zénithal *(PZT)*, constitué d'un objectif de 30 cm de diamètre et de 5 m de distance focale, solidaire d'un support horizontal placé à 2,5 m au-dessus d'un miroir formé par la surface d'un bain de mercure. Dans cet instrument, les rayons lumineux provenant d'une étoile zénithale, après avoir traversé l'objectif et avoir été réfléchis par le bain de mercure, impressionnaient une plaque photographique. Un tel résultat est également obtenu avec l'astrolabe de Danjon *(1953)*, constitué d'un objectif vertical qui reçoit les rayons lumineux d'une étoile, soit directement par réfraction à travers un prisme sous un angle de 60°, soit indirectement, après réflexion sur un bain de mercure. Les précisions intrinsèques que l'on obtient avec ces instruments sont de l'ordre de 4 millisecondes.

Grâce à l'emploi d'horloges de stabilité élevée, on a mis en évidence depuis quelques décennies des variations périodiques et irrégulières dans la rotation de la Terre, variations suffisamment importantes pour mettre en échec le postulat de constance de cette rotation.

C'est pourquoi le Comité international des poids et mesures décida, en 1956, d'abandonner l'ancienne définition de l'unité de temps, la seconde rotationnelle, égale à 1/86 400 du jour solaire moyen, pour adopter une nouvelle définition, fondée sur la connaissance rigoureuse de la durée de révolution de la Terre autour du Soleil : l'année tropique.

L'échelle de temps fondée sur cette nouvelle définition est appelée temps des éphémérides. Avec l'introduction de cette échelle, théoriquement uniforme, le temps astronomique peut être défini à long terme à mieux que quelques dixièmes de seconde.

Ci-dessus : sphère armillaire d'Adam Herildt (1648) ; la Terre, au centre, est en malachite (London British Museum of Sciences).
Ci-contre : sablier du XVIIe siècle ; les deux capsules en verre sont assemblées par un tortillon de papier (Florence, musée d'Histoire de la science).

A. Rizzi



Horloge à quartz (observatoire de Brera, Milan).

LA CONSERVATION DU TEMPS

Toutefois, même cette nouvelle définition rencontra dans son application pratique d'importantes difficultés, notamment à cause des complications liées à la déduction d'une unité de temps accessible aux mesures physiques de durée et de fréquence. En effet, parallèlement au développement des techniques pour la détermination du temps, on a créé des instruments capables de conserver l'unité de temps pendant des périodes aussi longues que possible. Avec les anciens sabliers et clepsydres qui, dans leurs très nombreuses et ingénieuses versions, résolurent le problème de la mesure des durées, on peut dire que durant plus de deux millénaires la précision de la mesure d'un intervalle était assez faible. On peut admettre que l'erreur relative commise dans ces mesures, jusqu'à la fin du XIIIe siècle, se maintint autour de 0,1 à 0,01 %. Au début du XIVe siècle, les premières horloges mécaniques firent leur apparition. Mues par des poids et réglées par des balanciers rudimentaires, elles demeurèrent pratiquement inchangées jusqu'au milieu du XVIIe siècle, c'est-à-dire jusqu'à la découverte par Galilée, en 1656, de la loi d'isochronisme du pendule. L'horloger turinois Camerini et l'opticien hollandais Huygens réalisèrent, simultanément, les premières pendules ; la précision dans les mesures d'intervalles atteignait alors quelques dizaines de secondes par jour. Les progrès réalisés pendant presque 3 siècles sur les pendules astronomiques portèrent cette précision à quelques centièmes de seconde. Enfin, vers 1930, les premières horloges à quartz, basées sur des principes tout à fait différents, permirent une précision d'environ 5 ms par jour.

Depuis cette date, l'évolution des techniques pour la conservation du temps ne connut aucune pause. En 1949, la première horloge atomique entre en service au National Bureau of Standard de Washington. La précision relative dans la mesure du temps et des fréquences est portée ainsi à 0,001 %. Alors que l'horloge à quartz est constituée d'un circuit oscillant stabilisé utilisant les caractéristiques piézo-électriques d'un cristal de quartz, et soumise par conséquent à de nombreux effets secondaires, l'horloge atomique permet l'accrochage de la fréquence d'une horloge à quartz à la fréquence constante d'inversion de la molécule d'ammoniaque.

En 1955, entre en service une nouvelle horloge atomique au césium, fabriquée au National Physical Laboratory de Teddington. Un jet d'atomes de césium est soumis à un champ magnétique non uniforme, qui fait dévier les atomes de niveaux énergétiques W1 et W2 dont les moments magnétiques sont différents. Grâce à l'interposition d'un écran naturel, on favorise le passage des seuls atomes de niveau W2 dans un guide d'onde où ces atomes réagissent entre eux avec une fréquence engendrée par une horloge à quartz, convenablement multipliée jusqu'à atteindre la valeur de 9,192 631 770 GHz, caractéristique de la fréquence liée au niveau W2. Si cette fréquence ne présente pas la valeur indiquée ci-dessus, l'irradiation ne se produit pas et les atomes, en passant à travers un deuxième champ magnétique, sont déviés et arrêtés par l'écran ; dans le cas contraire, ils poursuivent leur trajectoire rectiligne jusqu'à atteindre un récepteur qui enregistre leur énergie. L'horloge au césium permit, dès le début, une précision relative de l'ordre de 10^{-10}, donc 10 000 fois supérieure à celle des premières horloges atomiques. Mais, au cours des dix dernières années, on a construit des horloges au césium encore cent fois plus stables ; par ailleurs, avec des horloges fondées sur le principe des masers à l'hydrogène, il semble possible de multiplier encore par 1 000 cette précision.

Ainsi, en 1968, on en vint à une nouvelle modification de la définition de l'unité de temps, fondée cette fois-ci sur le nombre d'oscillations de la fréquence de résonance de l'atome de césium 133. Avec cette nouvelle définition, la mesure du temps est donc fondée sur une unité de temps physique, tandis que l'unité de temps astronomique (T.E.) continue naturellement à jouer un rôle important dans les domaines de la navigation, de la géodésie spatiale, ou de la radio-astronomie.

LA PHOTOGÉOLOGIE

La propriété que possède la photographie de reproduire fidèlement les détails, reçoit des applications dans de très nombreux domaines. Ainsi, a-t-on réussi à mettre au point des techniques de mesure portant sur la photo elle-même, à transposer les données obtenues sur les cartes (photogrammétrie), ou à reconnaître et interpréter la géologie d'une région (photogéologie).

Le premier pas de la photogrammétrie en tant que science fut accompli le jour où il devint possible de construire, par ce moyen, des cartes topographiques de régions inaccessibles. Cette technique se développa surtout à partir de la Première Guerre mondiale, parallèlement au développement de l'aéronautique. Après le conflit, le perfectionnement des appareils photographiques, du matériel photosensible et des méthodes d'interprétation a élargi les possibilités de la photographie aérienne à d'autres domaines.

Aujourd'hui, les nouvelles techniques de relèvement à distance grâce aux avions à réaction et aux satellites artificiels permettant de couvrir de vastes régions entrainent de nouveaux perfectionnements du matériel photographique, qui est devenu plus complexe. Exploitant le fait que les diverses longueurs d'onde du spectre électromagnétique (depuis les longueurs très courtes des rayons gamma à celles relativement longues utilisées par le radar) mettent en évidence, selon des particularités propres à chacune, certaines caractéristiques du sol, du sous-sol, de la végétation, etc., on a mis au point des appareils à plusieurs objectifs et des pellicules spéciales qui permettent de réaliser des photographies simultanées d'une région, comportant un grand nombre d'informations et de détails. Dans certaines limites, ces données peuvent être interprétées automatiquement par des ordinateurs, ce qui permet aux spécialistes une lecture plus complète de la photo aérienne. Toutes les informations que l'on peut tirer des photographies aériennes sont utilisables non seulement pour la construction de cartes topographiques et planimétriques précises, mais aussi pour l'étude de problèmes touchant à la géographie, au génie civil, à l'étude et à l'utilisation du sol, à l'analyse de la répartition de la végétation, à l'archéologie et, d'une manière générale, à toutes les sciences de la Terre. Dès le début, les géologues virent dans la photographie aérienne un moyen de faire des relevés rapides, économiques et indépendants des conditions locales, géographiques, climatologiques, voire politiques. Le développement de l'étude géologique de la surface de la Lune (sélénologie) grâce aux données transmises à terre par les sondes spatiales nous offre une nouvelle preuve des immenses possibilités de la photographie aérienne.

La photogéologie constitue ainsi non seulement le moyen de mener à bien l'étude de régions inaccessibles ou difficilement accessibles, mais offre en outre, au géologue, la possibilité de faire son travail plus facilement et de manière plus économique. Il faut souligner toute l'importance que revêt la photogéologie pour la construction de cartes géologiques, la reconnaissance et la reconstitution des structures topographiques, ou l'interprétation des aspects morphologiques dans le but de découvrir de nouvelles ressources naturelles (gisements miniers, gisements d'hydrocarbure, nappes aquifères, etc.), permettant de faire face aux besoins créés par l'accroissement de la population mondiale et le développement industriel.

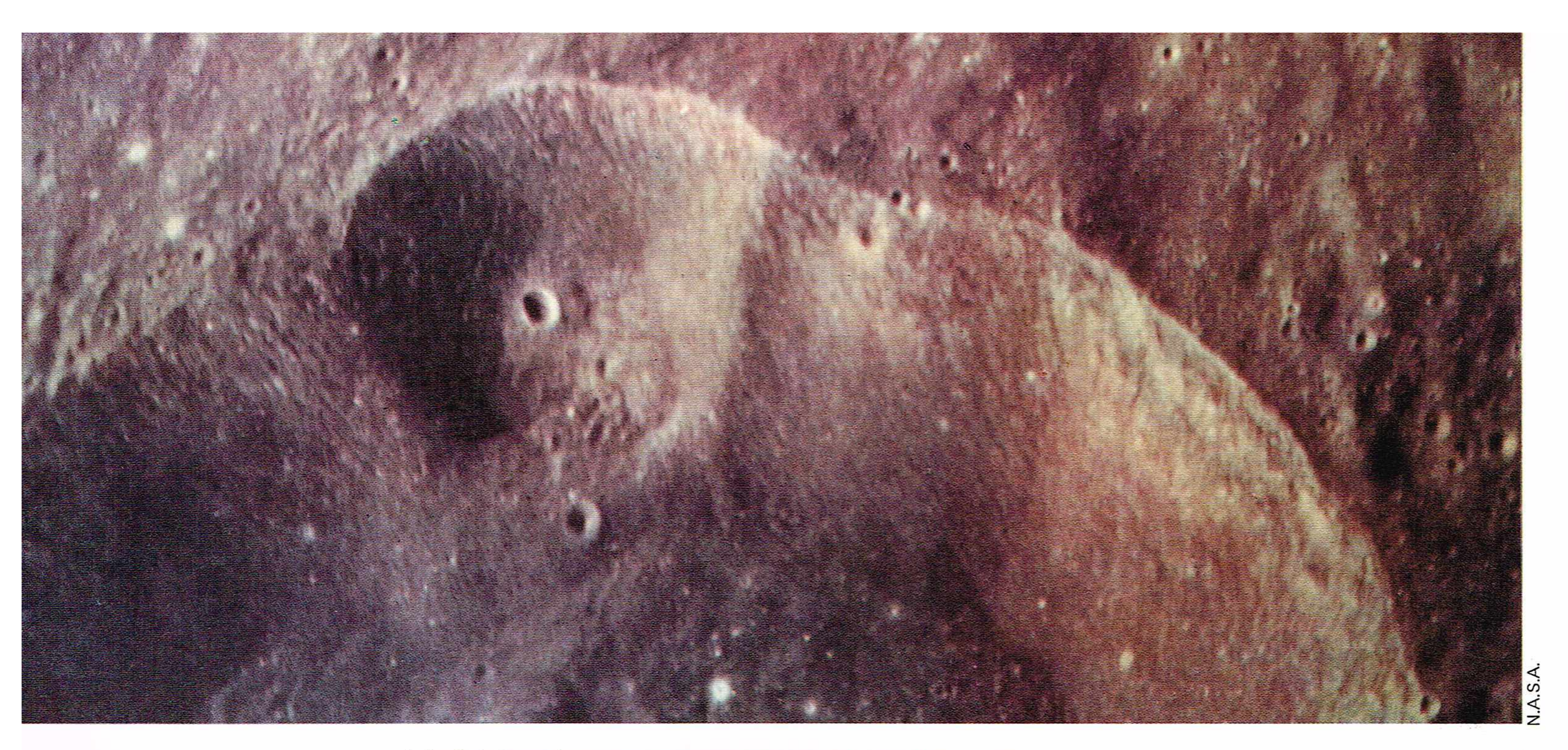
N.A.S.A.



Les photographies prises à partir des satellites artificiels ou sondes spatiales sont un instrument précieux pour la photogéologie ; l'illustration reproduit l'embouchure du Colorado dans le golfe de Californie.

L'EXPLORATION PHOTOGÉOLOGIQUE

On distingue une photogéologie quantitative *et une* photogéologie qualitative. *La première suppose l'emploi de techniques photogrammétriques ; elle trouve des applications dans le calcul des épaisseurs des couches géologiques, de leur immersion et de leur inclinaison, ainsi que dans la définition des glissements de failles, l'orientation des axes de glissement, ou les dimensions des corps cristallins, éléments qui permettent une reconstitution précise des structures ou une évaluation correcte des gisements miniers. En utilisant des instruments photogrammétriques, on peut en outre transposer sur une base topographique les données tirées de l'examen photogéologique, dessiner en détail les limites des structures, ou encore construire*



Détail de la surface lunaire photographiée par Apollo-8 en orbite autour de la Lune ; ce type de photographie a donné un rapide essor à la sélénologie, ou étude géologique de la surface lunaire.

les cartes des isospisses *(lignes qui relient entre eux les points correspondant à une même épaisseur) dans les régions où les formations géologiques sont bien visibles. Quant à la photogéologie qualitative, elle trouve des applications dans l'étude, l'examen et l'interprétation des configurations géologiques et géomorphologiques des différentes régions.*

L'exploration qualitative est complexe, puisque, sur une photographie aérienne, tous les éléments qui composent le tableau géologique sont présents simultanément. Parmi les principaux citons l'aspect et la répartition des affleurements, les détails structuraux, la morphologie, le réseau hydrographique, la glaciologie, la végétation et le sol, ainsi que certains aspects liés à l'activité humaine, comme l'utilisation des terrains et la répartition des habitations, qui ont parfois une signification géologique. Ces différents éléments sont liés par des corrélations étroites, puisque la surface a été modelée par l'action de facteurs interdépendants comme le vent, l'eau, le gel, la pluie ou la couverture végétale sur les roches ; il appartient au photogéologue d'attribuer à chacun d'entre eux son juste rôle. Aussi, une interprétation photogéologique correcte implique-t-elle la connaissance des notions de base de sciences telles que la géographie physique, la climatologie, l'écologie végétale et la pédologie, sans oublier la géologie et la géomorphologie. En effet, l'interprétation des photos aériennes peut concerner des domaines d'application très divers, dans chacun desquels les différents éléments revêtent une signification particulière ; par conséquent, il appartient au photogéologue de définir chaque fois quels sont les éléments significatifs pour la construction, par exemple, de cartes de gisements miniers, pour la prospection pétrolière, le génie civil, l'hydrogéologie, l'agrogéologie, les cartes géologico-structurales, etc.

Lorsque les conditions géologiques d'une région se reflètent dans l'adaptation de la topographie au type de roche et à la structure, l'identification et l'interprétation de certains éléments ne présentent aucune difficulté particulière. Les exemples les plus évidents nous sont offerts par la coïncidence de dorsales montagneuses ou de reliefs avec des anticlinaux et des dômes, de même que la coïncidence de vallées ou de dépressions avec des synclinaux et des bassins, ou encore d'escarpements avec des lignes de faille ; par ailleurs, les plaines côtières sont parfaitement reconnaissables, de même que les reliefs filoniens, les cônes de cendres et les plateaux couverts de lave, lorsque leur forme originelle n'a pas été altérée par les agents atmosphériques, effacée par l'érosion, ou recouverte par d'autres matériaux. Dans de tels cas, il faut recourir à un examen attentif d'autres facteurs, comme les différences de ton sur la photographie, l'aspect général et la position par rapport aux autres configurations géologiques ou topographiques. Dans d'autres cas — et cela se rencontre très fréquemment — les conditions géologiques ne coïncident pas avec la morphologie de la surface, et les unités lithologiques ; par ailleurs les structures peuvent se développer à travers différentes formes topographiques, donnant lieu à des combinaisons multiples, voire à l'inversion du relief (anticlinaux à l'emplacement de vallées et synclinaux à l'emplacement des sommets). On peut apporter de nombreux exemples de ce phénomène, comme les affleurements en V d'une couche ou d'une unité rocheuse inclinés qui coupent une vallée fluviale ou les affleurements en V ou en U inversés qui se produisent lorsque l'intersection intéresse une dorsale montagneuse. D'autres exemples nous sont fournis par les traces irrégulières d'un glissement à faible angle d'inclinaison dans une zone montagneuse, ou le développement enchevêtré de l'affleurement de sédiments presque horizontaux dans l'aire d'un plateau profondément entaillé. Dans ces cas, les tons de la photographie, la végétation, les sols prennent une importance relativement grande, puisque c'est essentiellement à travers ces facteurs que les couches, les failles, les roches magmatiques, les contacts, les discordances peuvent être identifiés. Dans de nombreuses zones, bien que le substrat rocheux soit ou bien exposé, ou bien très proche de la surface, les détails de la structure ne peuvent facilement être identifiés. Les zones à marnes et argiles, parvenues au stade de la maturité, couvertes d'une dense végétation et intéressées par un système fluvial aux ramifications nombreuses, posent souvent des problèmes d'interprétation. Il faut alors porter une attention particulière aux formes topographiques, aux caractéristiques du réseau hydrographique, aux tons de la photographie, aux types de végétation. La connaissance des conditions structurales du substrat est fondamentale dans la géologie du pétrole, dans la prospection minière, et utile dans l'étude des gisements de charbon et la détection des eaux souterraines. Même les matériaux non consolidés doivent être identifiés sur la base de nombreux critères ; aux précédents, il convient d'ajouter la reconstitution de la morphologie originelle ainsi que de la morphologie érodée ou altérée, la position par rapport aux autres éléments topographiques et géologiques. Aux matériaux superficiels, qui constituent le « sol », s'intéressent principalement la pédologie et le génie civil, qui ont pour objectif principal de localiser convenablement les matériaux de construction et de choisir les endroits appropriés pour la construction de routes, d'immeubles, de barrages, d'aéroports, de tunnels ou de réservoirs. Pour la pédologie et l'agrogéologie, qui classent les différents types de sol en productifs et non productifs, l'interprétation de la photographie aérienne ne concerne qu'accessoirement la géologie du substrat, l'intérêt essentiel se portant sur les caractéristiques des matériaux non consolidés de la surface.

L'ASTRONAUTIQUE ET L'ASTRONOMIE

L'astronautique est née le 4 octobre 1957, avec le lancement de Spoutnik I*, premier satellite artificiel de la Terre. Les progrès en la matière furent ensuite extrêmement rapides, pour des raisons d'ailleurs plus politiques que scientifiques. Quoi qu'il en soit, le 12 avril 1961, le vaisseau spatial* Vostok I *emportait dans l'espace le premier cosmonaute : Youri Gagarine. A ce jour, à l'occasion de 59 missions effectuées dans le cadre des programmes* Vostok, Voskhod, Soyouz, Saliout, Mercury, Gemini, Apollo et Skylab, *121 hommes se sont ainsi rendus dans l'espace. Le record actuel de durée d'une mission spatiale revient à l'équipage de la troisième mission* Skylab, *avec 84 jours. Mais la plus importante expérience, au moins sur le plan historique, fut sans conteste celle qui vit le débarquement des premiers hommes sur la Lune ; c'était le 20 juillet 1969, à l'occasion de la mission* Apollo XI, *avec Neil Armstrong et Edwin Aldrin.*

LA CONQUÊTE DE LA LUNE

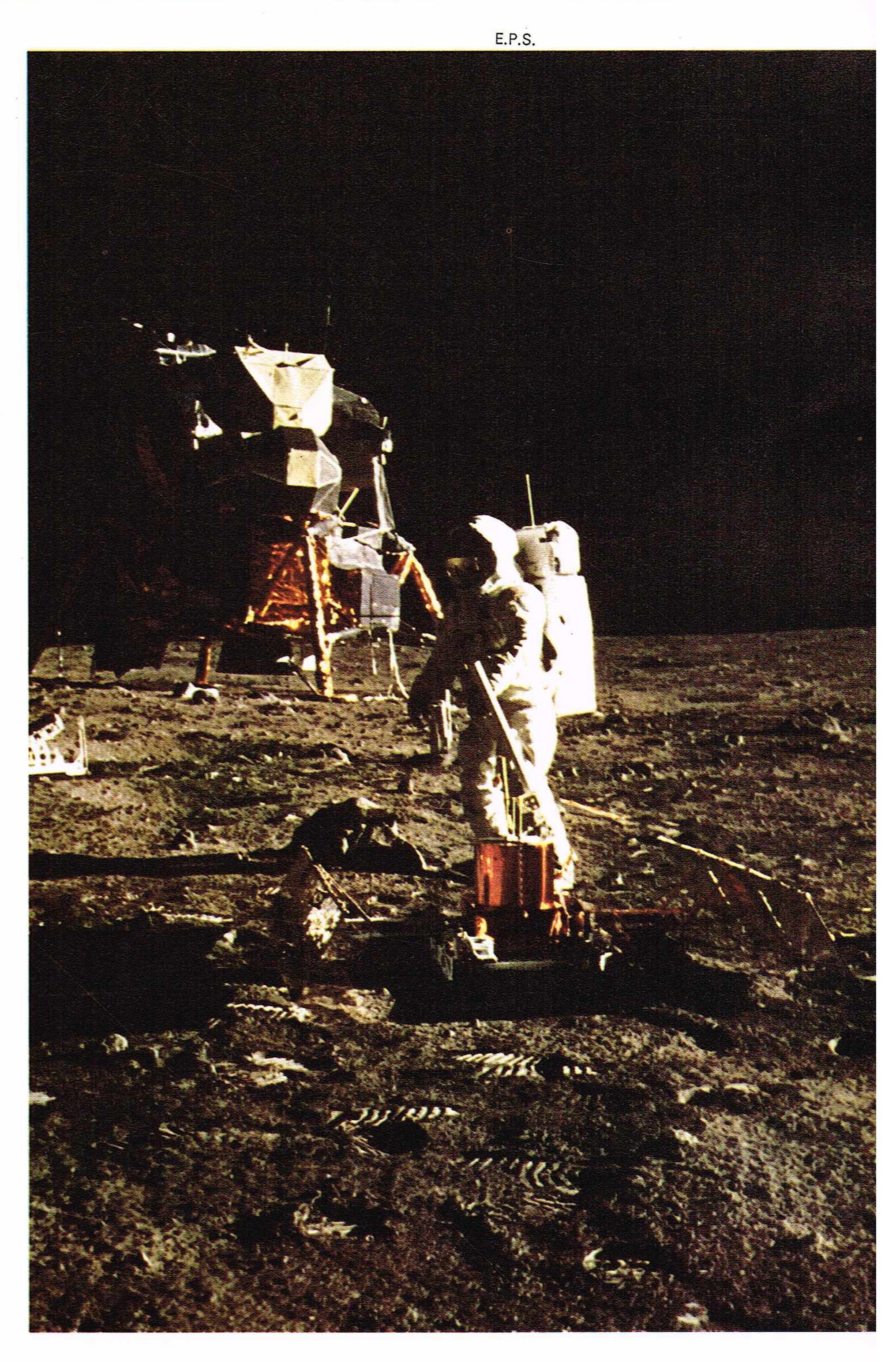
Auparavant, bien entendu, un certain nombre de sondes automatiques furent envoyées en éclaireurs. La série débuta avec Luna II *qui, en septembre 1959, devint le premier objet, construit de main d'homme, à percuter la Lune. Le mois suivant,* Luna III *nous faisait ensuite découvrir l'autre face de notre satellite naturel, jusqu'alors inconnue. Puis les sondes* Ranger VII, VIII et IX *(juillet 1964 à mars 1965) furent lancées vers l'astre pour s'y écraser, non sans avoir auparavant retransmis des vues télévisées de plus en plus rapprochées du sol. Avec* Luna IX *(février 1966) et* Surveyor I *(juin 1966) débute ensuite une série d'atterrissages en douceur qui permirent à la fois de déterminer la nature et la structure du sol lunaire, et l'aspect de ses paysages. A la même époque, avec* Luna X *(mars 1966) et* Lunar Orbiter I *(août 1966), débutait un programme de satellisations autour de la Lune, dans le but de procéder à des mesures sur son environnement et d'établir une cartographie détaillée de ses deux hémisphères. Cette étude préliminaire par sondes automatiques fut complétée par deux missions de reconnaissance pilotées en décembre 1968 et mai 1969* (Apollo VIII et X), *avant le débarquement d'*Apollo XI *dans la Mer de la Tranquillité, presque exactement dix ans après le premier impact de* Luna II.

*Il y eut, au total, six missions d'atterrissage, d'*Apollo XI *(juillet 1969) à* Apollo XVII *(décembre 1972) ; rappelons que la mission n° XIII se limita à un survol de l'astre, par suite d'une avarie grave survenue pendant le voyage Terre-Lune. A l'occasion des autres missions, les astronautes ont installé des stations scientifiques automatiques qui fonctionnent toujours, et nous permettent ainsi de continuer à étudier la Lune à distance. En outre, ils ont pris un très grand nombre de photographies et rapporté près de 400 kg d'échantillons du sol ; leur analyse a révélé que les roches lunaires s'apparentaient à nos basaltes, que la Lune n'avait jamais connu la moindre forme de vie et que l'astre s'était formé en même temps que la Terre, il y a 4 milliards 700 millions d'années.*

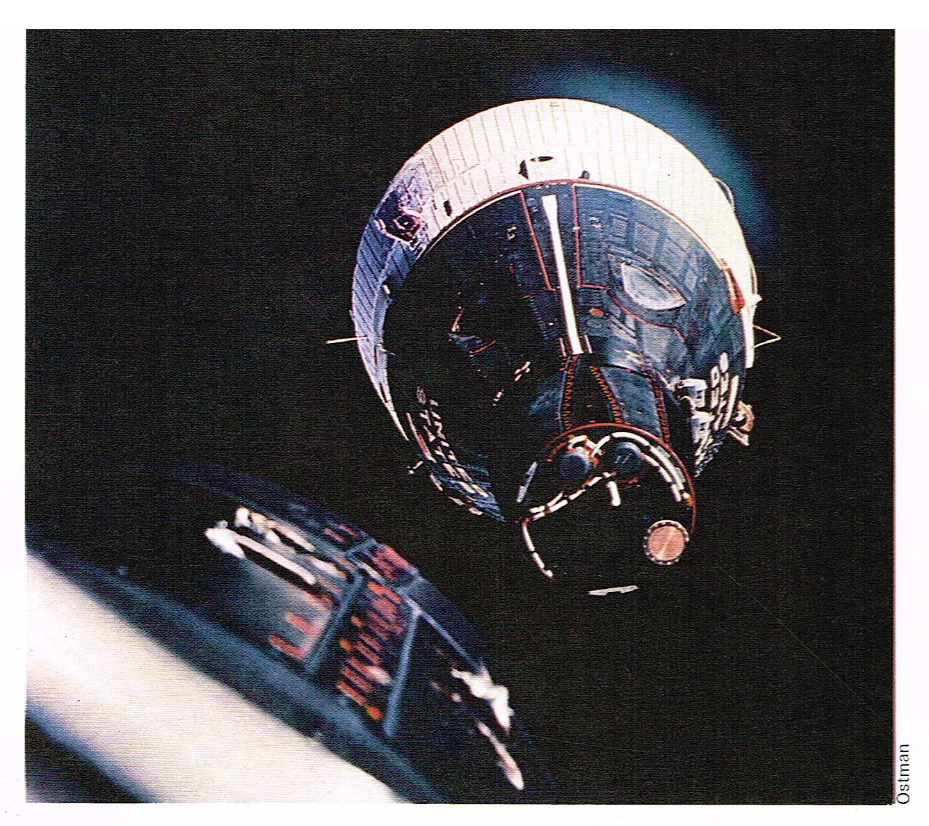
DE MERCURE A SATURNE

Parallèlement à cette exploration de la Lune, des sondes automatiques de plus en plus perfectionnées ont exploré l'espace interplanétaire et les planètes voisines. Vénus fut survolée pour la première fois en décembre 1962 (Mariner II), *Mars en juillet 1965* (Mariner IV), *Jupiter en décembre 1973* (Pionnier X) *et Mercure en avril 1974* (Mariner X). *Comme la Terre et la Lune, Vénus et Mars ont également été dotées de satellites artificiels ; en outre, des sondes ont atterri à leur surface. Par ces robots*

E.P.S.



Edwin Aldrin en train de mettre en place le sismomètre sur la surface lunaire (au fond, on distingue parfaitement le drapeau américain et le module lunaire). La conquête de la Lune a rendu encore plus étroit le rapport existant entre les entreprises spatiales et l'astronomie.



Ostman



P.R.I.

Gemini VI et Gemini VII lors du premier rendez-vous spatial réussi (photo de gauche).

Saturne V, la gigantesque fusée qui a envoyé Apollo XI sur la Lune, est transportée vers la tour de lancement sur une plate-forme mobile.

interposés, nous en avons appris plus sur les planètes, en quelques années, qu'en plusieurs siècles d'astronomie traditionnelle. La prochaine à être conquise sera Saturne, qui entrera dans le champ de la caméra de Pionnier XI *en septembre 1979. Vers la même époque, devrait avoir lieu le premier rendez-vous entre une sonde spatiale et une comète. Signalons enfin que* Pionnier X*, après avoir survolé Jupiter au terme d'un voyage d'un milliard de kilomètres, a reçu un supplément de vitesse lui permettant d'échapper à l'emprise du Soleil. Pour la première fois, un objet humain quitte ainsi le système solaire pour se diriger vers les étoiles.*

LA GRANDE FAMILLE DES SATELLITES

Au 1er janvier 1976, très exactement 8 527 satellites avaient été envoyés dans l'espace, à l'occasion de 1 578 lancements. Il faut préciser que chaque lancement entraîne la mise en orbite de plusieurs « objets » : charge utile proprement dite (parfois multiple puisque certains satellites sont lancés par groupes de 8), dernier étage de la fusée porteuse, cône protecteur, accessoires divers. Précisons toutefois que plus de la moitié de ces satellites est aujourd'hui retombée, par suite du freinage atmosphérique qui se fait sentir jusque vers 3 000 km d'altitude ; or très peu de satellites circulent à une distance supérieure. La plupart des objets qui gravitent autour de la Terre sont ainsi condamnés à se désagréger dans l'atmosphère à plus ou moins brève échéance. Presque tous les satellites se regroupent en familles patronymiques, la liste complète de celles-ci ne comportant pas moins de 200 noms. Précisons enfin que les États-Unis et l'Union soviétique ne sont plus les seuls pays à pouvoir lancer des satellites. Le « club spatial » compte aujourd'hui quatre autres membres : la France (depuis novembre 1965), le Japon, la Chine et la Grande-Bretagne. Un certain nombre d'autres pays, dont l'Allemagne, l'Italie, les Pays-Bas et l'Espagne, possèdent également des satellites, mais en confient le lancement à des fusées américaines. Tous ces satellites artificiels, sondes planétaires et vaisseaux spatiaux ont permis un grand nombre de découvertes et de progrès, dans les domaines les plus variés. La technologie, par exemple, s'est profondément améliorée, du fait des contraintes imposées par la résolution de problèmes complexes (en électronique par exemple) ou la mise au point de matériaux particuliers (alliages résistants et réfractaires, lubrifiants spéciaux, etc.). La biologie et la médecine, grâce aux vols humains dans ce milieu très particulier qu'est l'espace, ont reçu un apport qui n'est pas négligeable. La géophysique, c'est-à-dire la connaissance de notre propre planète et de son environnement, a également progressé de façon spectaculaire grâce aux satellites artificiels ; citons, entre autres, la découverte des ceintures de radiations Van Allen, l'aspect piriforme du globe terrestre, la présence d'une vaste enveloppe d'hydrogène entourant notre atmosphère, etc. Les satellites artificiels offrent en outre un nombre considérable d'applications pratiques, notamment dans le domaine des télécommunications, de la météorologie, de la navigation, de la géodésie, ou pour le recensement des ressources terrestres, sans oublier la surveillance militaire. Quant à l'astronomie, elle a évidemment bénéficié en tout premier lieu des possibilités offertes par les engins spatiaux : observation du ciel en dehors du filtre atmosphérique, étude des astres in situ.

L'astronautique a également soulevé des problèmes de droit international, notamment en ce qui concerne la souveraineté d'un pays sur les astres explorés, et introduit dans le langage courant une foule de néologismes : alunissage, fiabilité, etc.

PERSPECTIVES

Comme on le voit, après moins de deux décennies de conquête spatiale, le bilan est impressionnant. On remarquera aussi que l'astronautique s'est essentiellement caractérisée, jusqu'à maintenant, par une série de grandes « premières » et d'expériences spectaculaires. Depuis quelques années, toutefois, un changement de tendance apparaît, et l'on s'oriente de plus en plus vers une astronautique « utilitaire ». La mise en orbite des stations spatiales Saliout *et* Skylab*, en 1971 et 1973, a constitué le prélude à une astronautique opérationnelle. A partir de 1980, aux États-Unis, des navettes spatiales récupérables remplaceront les classiques fusées à « emballage perdu ». Ces avions-fusées auront une charge utile de 30 tonnes et pourront être réutilisés cent fois, ce qui permettra de diviser par dix le coût du kilogramme satellisé. Ces navettes seront en outre d'une grande souplesse d'utilisation et pourront emporter des passagers non entraînés. Les astronautes, au sens où nous l'entendons aujourd'hui, auront disparu.*

Peut-être verrons-nous également, vers la fin de la prochaine décennie, l'installation de bases scientifiques permanentes sur la Lune, dans le cadre d'une coopération internationale, à l'image de ce qui se passe pour l'Antarctique. Quant aux réalisations plus ambitieuses, comme le voyage de l'homme sur Mars, elles ne semblent guère envisageables avant la décennie 1990-2000, essentiellement pour des raisons financières.

LA PRÉVISION MÉTÉOROLOGIQUE

LE PROBLÈME DE LA PRÉVISION DU TEMPS

La météorologie est une science particulièrement complexe car les facteurs qui caractérisent l'état de l'atmosphère à un moment donné sont très nombreux et très variables dans le temps et dans l'espace.

Les lois qui régissent leurs variations sont connues; pour la plupart, ce sont celles de la mécanique des fluides et de la thermodynamique, mais le problème posé est singulièrement compliqué du fait que l'air, qui contient une quantité variable de vapeur d'eau, est astreint à s'écouler autour du globe dont la rugosité est variable (mer, relief terrestre) et en rotation autour d'un axe, ce qui introduit des paramètres supplémentaires, eux-mêmes variables. Par ailleurs il n'est pas exclu que des facteurs extérieurs à la basse atmosphère, les seuls pris en considération jusqu'ici, n'aient pas, à plus ou moins longue échéance, des répercussions, d'ailleurs mal connues, sur les couches proches du sol et dont dépend directement le temps qu'il fait.

Le premier problème qu'il convient de résoudre est celui de la circulation générale de l'atmosphère, c'est-à-dire de l'ensemble des mouvements qui animent l'océan aérien, à l'échelle du globe.

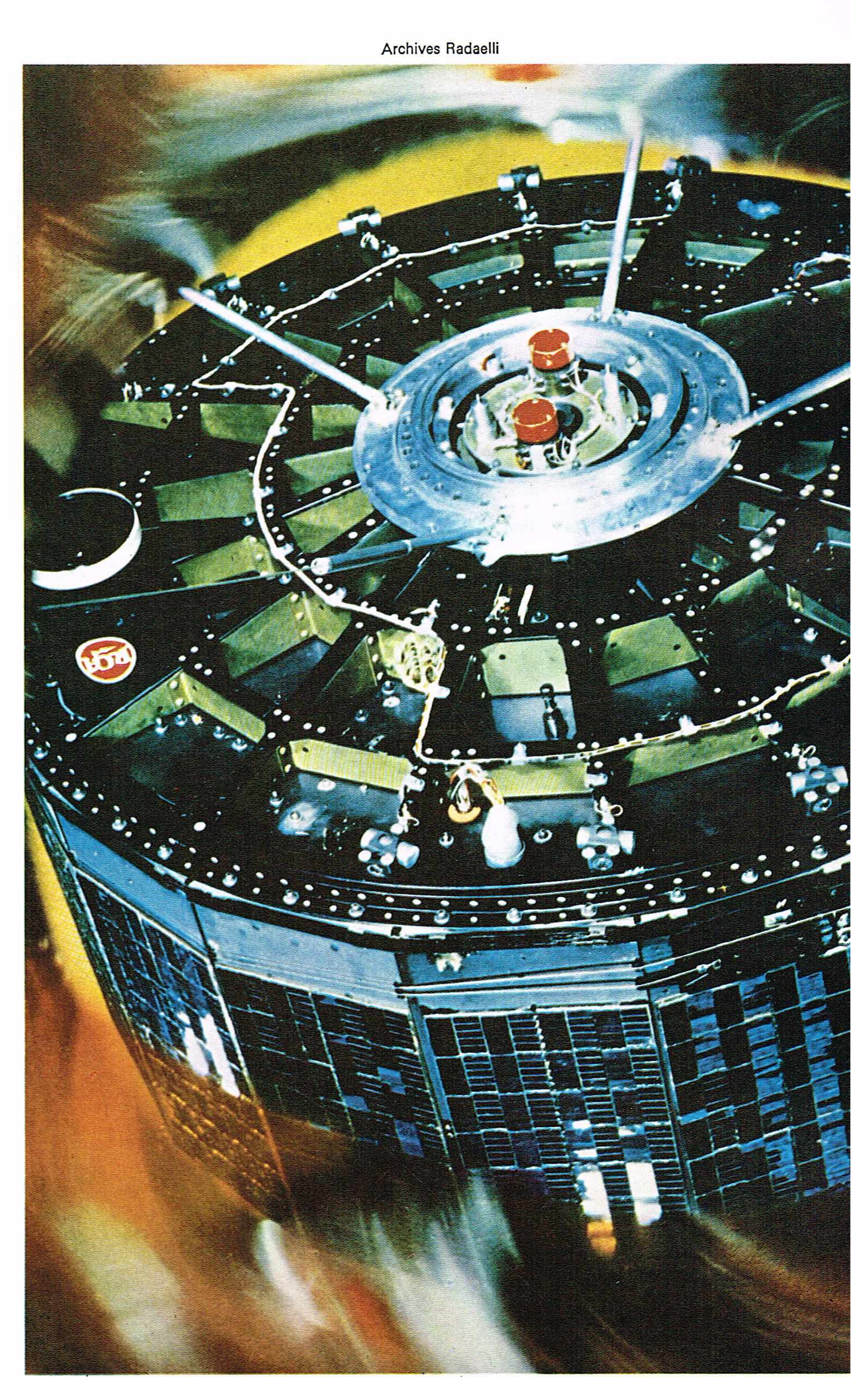
Tout découle, en effet, de ces mouvements qui mettent en contact les masses d'air *d'origines et de caractéristiques différentes : température, humidité, vitesse, stabilité. De ces contacts résultent les perturbations atmosphériques : pluies, tempêtes, orages... Ces « masses d'air » sont de vastes ensembles de particules d'air séjournant dans les régions froides (polaires ou arctiques) ou chaudes (équatoriales, tropicales) du globe et qui acquièrent une humidité plus ou moins forte selon qu'elles se déplacent ensuite au-dessus des mers ou des continents. Ces mouvements étant déterminés, il convient de déceler les phénomènes qu'ils provoquent et de prévoir leurs trajectoires et leur évolution.*

LES MESURES : L'OBSERVATION MÉTÉOROLOGIQUE

Pour établir la climatologie d'un site, d'une région ou d'un pays, c'est-à-dire pour définir les valeurs moyennes des divers facteurs qui caractérisent le temps (température, humidité, vent, pluie, insolation...) ainsi que leurs valeurs extrêmes, les fréquences, les écarts possibles aux valeurs normales, il convient de disposer de nombreuses mesures effectuées à l'aide d'un matériel précis et standardisé, permettant de comparer les résultats. Il en va de même pour l'établissement d'une vue générale des conditions météorologiques sur des régions de grande étendue à un moment donné car l'atmosphère forme un tout. Ceci constitue l'« état initial », point de départ des raisonnements et des calculs aboutissant à la prévision. La grande variabilité des phénomènes exige que cet état initial soit reconsidéré fréquemment, toutes les 3 ou 6 heures selon l'échelle de l'étude.

Les mesures sont effectuées, au niveau du sol, dans quelque 8 000 stations d'observation où les météorologistes relèvent les valeurs des facteurs précédemment énumérés. En mer, des navires météorologiques et des navires marchands spécialement équipés assurent également des observations. Ce réseau, encore très insuffisant, est complété par des stations automatiques installées dans les sites d'accès difficile, et par des bouées. L'Organisation météorologique mondiale a lancé une vaste opération visant à parfaire et à compléter ce réseau, notamment dans les pays insuffisamment équipés.

Archives Radaelli



Le satellite météorologique américain Tiros I.



Photo Météorologie Nationale

EN ALTITUDE

La connaissance des conditions atmosphériques au niveau du sol ne suffit pas à définir l'état de l'atmosphère dont les caractéristiques, dans une épaisseur d'au moins 20 à 30 km, sont interdépendantes. On est donc conduit à y pratiquer des sondages à l'aide de ballons emportant, dans une nacelle de faibles dimensions, un poste météorologique réduit et un émetteur léger transmettant automatiquement à la station de lancement les valeurs de la pression, de la température et de l'humidité dans les couches traversées, jusqu'à 20 à 25 km d'altitude. Par ailleurs, un réflecteur métallisé, également emporté par le ballon-sonde, permet de suivre au radar la trajectoire du ballon, ce qui donne la direction et la vitesse du vent aux divers niveaux.

LE RADAR MÉTÉOROLOGIQUE

En plus de son utilisation pour la mesure du vent, le radar est employé au repérage à distance des masses nuageuses importantes contenant de grosses gouttelettes d'eau ou de la neige.

Le radar est en outre précieux pour la détection des cyclones tropicaux qu'il permet de déceler et de suivre plusieurs heures avant qu'ils n'atteignent les régions menacées.

LES SATELLITES MÉTÉOROLOGIQUES

La météorologie spatiale est née aux U.S.A. en 1960 avec le lancement expérimental d'un premier satellite spécialisé appelé Tiros. *Depuis 1966, avec les séries* Nimbus, Essa, Itos *et les satellites russes* (Cosmos), *l'exploitation de la météorologie satellitaire est devenue opérationnelle. La France a été l'un des premiers pays à utiliser cette technique nouvelle grâce à la création, en 1963, du Centre d'études météorologiques spatiales de Lannion.*

Les satellites ont pour principal objectif de transmettre aux stations de réception, au moment du passage de l'engin à proximité, des images filmées et stockées de la couverture nuageuse. L'orbite, située à environ 200 km d'altitude, est décrite en 90 mn. Un autre type de satellites placés à 36 000 km d'altitude tourne à la même vitesse angulaire que la Terre, c'est-à-dire qu'ils paraissent immobiles. Les images qu'ils transmettent autorisent une surveillance permanente des nuages sur environ un tiers du globe car l'utilisation de la technique des rayons infrarouges rend possible l'obtention des images durant la nuit. Cette technique donne en outre de précieuses indications sur la température des couches nuageuses, du sol et de la mer.

Lancer d'un ballon-sonde avec la petite nacelle aux instruments (photo du haut).
Partie des installations du calculateur de la Météorologie nationale.

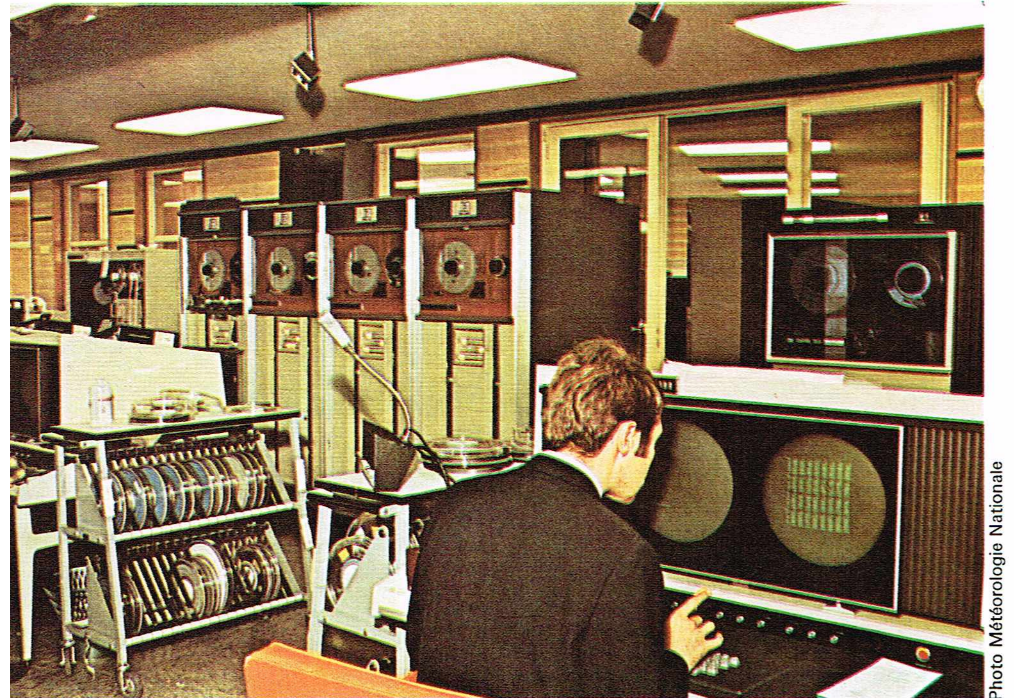


Photo Météorologie Nationale

LA PRATIQUE DE LA PRÉVISION DU TEMPS

Toutes les données recueillies ainsi qu'il vient d'être dit sont échangées rapidement grâce à un réseau international de télécommunications.

Ces données sont portées sous forme symbolique sur des cartes géographiques : cartes de pression, de température, de nuages, de masses d'air... Les contours des divers phénomènes : zones de hautes et de basses pressions, de hausses ou de baisses de pression, zones de pluie ou d'averses, d'orages, de brouillard... sont tracés à l'aide des renseignements pointés, ce qui donne finalement des représentations parlantes — du moins pour le spécialiste — de l'atmosphère dans son ensemble à un moment donné.

Il reste au prévisionniste à extrapoler l'évolution des phénomènes en tenant compte des lois et règles qui régissent la vie de l'atmosphère et aussi de l'expérience concernant les évolutions constatées dans des situations comparables.

Cependant, l'application des lois nécessite un nombre considérable de données et les moyens de les prendre toutes en considération, autrement dit de les faire entrer dans les équations complexes à résoudre rapidement. Aussi, jusqu'à ces dernières années, la prévision du temps est-elle restée qualitative, d'où ses lacunes, ses imprécisions et ses erreurs.

L'apparition des moyens de calcul numérique puissants et rapides a permis, dans une certaine mesure, de sortir de l'impasse.

Les données reçues, au lieu d'être transformées en images, sont confiées au calculateur qui, grâce à des programmes préétablis, en tire, lui aussi, une image, mais calculée, de l'atmosphère. Il s'agit d'une image chiffrée, encore très incomplète car elle ne donne que les grands traits de la circulation générale de l'atmosphère où viennent se former et se déplacer les perturbations. La machine, compte tenu des modèles d'évolution qui lui ont été fournis et qui sont les résolutions des équations appropriées, calcule ensuite l'image future, jusqu'à 72 heures d'échéance, de ces grands courants aériens. Grâce à des tables traçantes, le prévisionniste dispose enfin de documents dessinés, comparables à ceux établis précédemment à la main. Cependant il lui reste à les interpréter, à leur ajouter les phénomènes qui doivent y prendre naissance, compte tenu de tous les éléments complémentaires dont il dispose : masses d'air, mouvements de l'air à plus petite échelle, relief..., directement responsables du beau ou du mauvais temps en tel ou tel point.

L'UTILISATION DES PRÉVISIONS MÉTÉOROLOGIQUES

Il apparaît, d'après ce qui précède, que la prévision du temps reste encore une simple probabilité : l'énoncé de la solution la plus probable d'un problème fort complexe. Si, dans certaines situations, bien nettes et bien établies, les chances de réussite peuvent atteindre 90 %, il est des cas, au contraire, où les deux ou trois « solutions possibles » ont autant de chances de se réaliser les unes que les autres. D'autre part, la densité du réseau d'observation et les réactions locales du relief, ou même simplement de la couverture terrestre, font qu'il n'est pas possible d'entrer dans le détail et de dire, par exemple, qu'une averse tombera à telle heure, dans telle ville.

Enfin, en l'état actuel des méthodes de prévision, il est impossible de prévoir à plus de quelques jours d'échéance le temps qu'il fera. Tous les services météorologiques du monde sont d'accord sur ce point et un centre européen de prévision, doté de calculateurs très puissants, vient d'être créé dans le but de rechercher et de tester des méthodes de prévision à échéance allongée. Son ambition ne dépasse pas à l'heure actuelle 5 à 10 jours.

Quoi qu'il en soit, dans leur état actuel, les prévisions météorologiques rendent des services inestimables dans toutes les branches de l'activité humaine.

LA CONSERVATION DU SOL

Les actions chimiques et physiques des agents atmosphériques décomposent les roches de la surface terrestre, provoquant leur désagrégation en particules; l'ensemble de celles-ci, de nature et de caractéristiques différentes, constitue ce que l'on appelle habituellement le sol, c'est-à-dire la couche superficielle meuble qui a comme base (à une profondeur variable) la roche inaltérée et sur laquelle se développe la couverture végétale.

En observant les matériaux transportés par un cours d'eau, ceux qui sont retenus au niveau des digues, ou bien ceux qui vont former les deltas, nous nous apercevons qu'il ne s'agit pas de limons à proprement parler; une grande partie de cette boue était à l'origine partie constituante d'un sol d'où elle a été arrachée, sol dans lequel la végétation plongeait ses racines. Ce fait n'est pas toujours apparent, car l'action érosive, c'est-à-dire le décapage des formations meubles superficielles, ne se manifeste que sur une longue période; en effet, la couverture végétale défend, par ses feuilles et ses racines, l'intégrité du sol en place qui la porte, limitant au maximum la quantité de particules emportées par les eaux de ruissellement. Mais, si cette couverture fait défaut, l'érosion devient dangereuse; on est en présence d'une érosion accélérée, *qui intéresse les zones environnantes : il n'est que de voir les effets néfastes de l'érosion intéressant une aire montagneuse sur la plaine affectée aux cultures.*

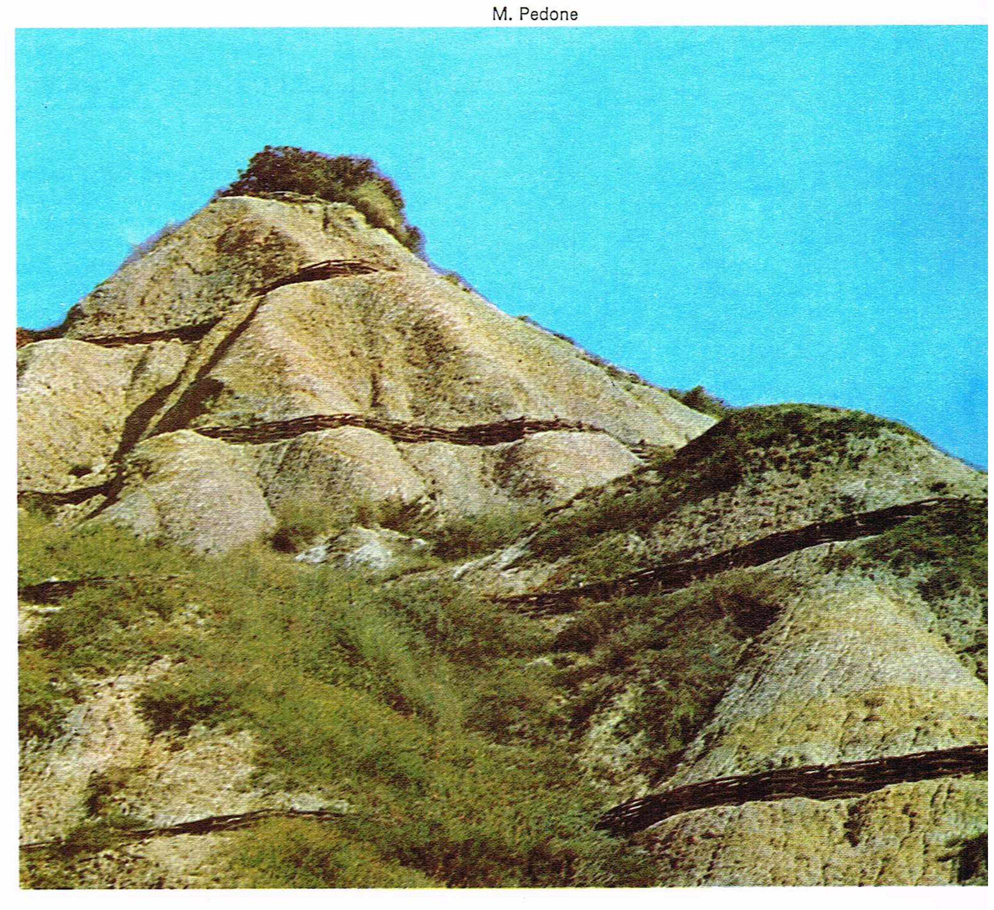
L'homme est donc obligé de conserver le sol là où il existe, en empêchant que les agents de l'érosion le détruisent et l'emportent. Naturellement, on ne peut que limiter les effets de ce phénomène en utilisant les techniques appropriées. Bien que les méfaits de l'érosion n'aient attiré l'attention des pouvoirs publics que dans les dernières décennies, le problème n'est pas nouveau. Les déserts de la Chine septentrionale, de l'Iran, de l'Irak et de l'Afrique du Nord n'ont pas été, comme l'histoire nous le montre, toujours des déserts. Ils le devinrent, au cours de la période relativement courte de l'époque historique, à cause du décapage progressif et continu du sol qui les recouvrait. Théâtre de gloire et de prospérité, Carthage apparaît aujourd'hui comme une simple étendue de sable; la cause doit en être recherchée dans l'épuisement du sol, l'abandon des cultures et des terres, phénomènes qui ont favorisé l'avance du désert, et non pas uniquement dans les conséquences des guerres puniques. En Chine, de très vastes régions ressemblent à de véritables champs de bataille ravagés par une guerre dévastatrice; c'est la guerre engagée (et perdue) par l'homme contre les forces de la nature qui, après l'abandon des cultures, ont très vite creusé de profonds ravins. Mais, lorsqu'il n'abandonne pas, l'homme peut remporter la bataille de la conservation du sol, comme le prouve l'État d'Israël, qui transforme le désert en champs cultivés.

L'accroissement constant de la population mondiale interdit de différer davantage la solution de ce problème. Il revêt une particulière gravité dans les régions les plus pauvres, où, si l'on veut vaincre la faim, il faut gagner de nouvelles terres à l'agriculture.

En Italie aussi, le dépeuplement des régions montagneuses, associé à un déboisement tout à fait irrationnel, pose le problème de la conservation du sol en termes d'urgence, comme l'ont démontré les désastres de la Toscane et du Trentin en 1966, et du Piémont en 1968. D'après les estimations de Paserini, les pertes annuelles de sol végétal provenant de l'érosion par l'eau des formations argileuses, qui constituent environ 80 % de la surface agricole du pays (6 milliards d'ha), varient d'un minimum de 1 000 m³/km² à un maximum de 6 400 m³/km² en passant par des pointes de l'ordre de 11 000 m³/km².

Il faut déplorer que de telles données proviennent uniquement d'études fragmentaires, conduites en dehors de tout programme d'ensemble, même au niveau régional; cette situation est d'ailleurs commune aux autres pays, à l'exception des U.S.A., où on s'est attaqué rationnellement à la résolution de ce problème grâce à la création, dès 1953, du Soil Conservation Service *(en Italie, un organisme d'État est installé à Florence depuis 1953,* l'Institut expérimental pour l'étude et la défense du sol, *mais son action est loin d'être à la mesure des véritables besoins). Nous sommes donc en présence d'un problème qui est devenu politique.*

M. Pedone



Différents systèmes de défense ont été mis au point contre le phénomène de l'érosion; la photo montre un paysage calabrais, où le flanc de coteau est ceinturé par des barrières en bois tressé, destinées à empêcher les coulées boueuses.

Nous allons nous efforcer de brosser maintenant un tableau assez complet des études de base qui visent à la sauvegarde du sol. Il faut seulement signaler que le vent qui arrache des particules fines à la surface du sol peut être aussi un agent important de l'érosion qui est alors dite éolienne. Ses causes et ses effets ne sont pas traités ici.

L'ÉTUDE DES COURS D'EAU

Il convient avant tout d'étudier les cours d'eau, notamment dans leurs sections montagneuses. Puisqu'il s'agit de prévenir les dommages causés par les inondations, l'étude doit porter sur les crues et les facteurs connexes : précipitations de la région, lit de la rivière,

caractéristiques du bassin hydrographique. Les « critères géométriques » de celui-ci sont à prendre en considération : forme et dimensions, structures géologiques et topographiques, température et position par rapport aux vents dominants. Un tel examen, associé à celui des précipitations moyennes, conduit à la détermination du temps que l'eau de pluie met pour atteindre le cours d'eau. Il est évident que cela dépend des caractéristiques des terrains et des roches qui constituent le bassin, ainsi que de la couverture végétale.

Un tel examen permet de déterminer quelle quantité de précipitations un cours d'eau peut accueillir tout au long de son parcours et d'élever, si nécessaire, cette capacité par des ouvrages hydrauliques appropriés.

L'ÉROSION DANS LES SOLS ET DANS LES MASSES ROCHEUSES AMEUBLIES

Celle-ci a une action en moyenne 20 fois supérieure à ce qu'elle est dans les roches compactes. Cette action conditionne directement aussi bien la productivité du sol que l'apport de fragments solides aux cours d'eau. On y distingue trois temps : le premier va du moment où la pluie commence à tomber au moment où des rigoles commencent à s'écouler le long de la pente ; dans cet intervalle, l'érosion est due uniquement au choc des gouttes de pluie sur le sol ; c'est l'effet de battance. Au temps suivant, on assiste à l'entraînement des particules par les innombrables rigoles qui se creusent, s'élargissent et confluent vers le bas : c'est le ravinement. Cette action est prédominante, et demeure même la seule effective au cours du troisième temps, lorsque la pluie a cessé.

Donc, pour qu'il y ait érosion, il faut que la pluie soit capable de séparer les particules du sol, puis que l'eau d'écoulement ait la force de les entraîner. Les spécialistes parlent du « pouvoir de désagrégation et de transport » de l'agent érosif. Ce pouvoir n'est pas facile à déterminer, puisqu'il dépend de trois facteurs éminemment variables d'un point à un autre : la nature du sol, le comportement de la pluie, la couverture végétale. Toutefois, une étude minutieuse des propriétés physico-chimiques du sol, de la stabilité de ses agrégats, de sa capacité à absorber l'eau et de sa situation topographique (exposition, pente, etc.) permet déjà de prévoir de manière satisfaisante son aptitude à se laisser éroder.

Sur des roches particulières, comme l'argile ou les roches cimentées par un matériau facilement solubilisable, l'action érosive peut aboutir à la longue à la séparation non plus de simples particules, mais de blocs entiers. C'est le phénomène des éboulements, qui constitue un chapitre important de l'étude de la conservation du sol. Dans de tels phénomènes, outre la nature de la roche, intervient la disposition des versants par rapport aux couches géologiques.

Paysage typique d'érosion par ravinement dans la région d'Atri (Abruzzes).



Archives I.G.D.A.

L'ÉROSION DU SOL EN ITALIE

L'Italie offre des exemples malheureusement trop éloquents de l'action de l'érosion. A l'appauvrissement et au décapage de la terre arable, d'où découlent d'importants dommages économiques, s'ajoutent les inondations fréquentes, le comblement des bassins lacustres et des lits des fleuves. Les rivières suspendues sont une caractéristique commune aux plaines, depuis la plaine du Pô jusqu'aux îles ; l'exemple le plus typique en est donné par les torrents calabrais, dont les lits surplombent des champs cultivés et des centres habités, provoquant des catastrophes chaque fois que les précipitations dépassent certains maximums ; de même, de nombreux centres urbains situés sur des hauteurs ont une position rendue précaire par l'érosion accélérée qui déchausse la base des fondations. Quelles en sont les causes ? Il faut d'abord citer la nature des terrains : la fin du Tertiaire et le début du Quaternaire ont vu la division en panneaux et le soulèvement de la chaîne des Apennins ; par ailleurs, ces segments sont essentiellement constitués par des terrains de nature peu cohérente (argiles) ou rendus tels par les fractures subies.

A ces causes fondamentales, il faut ajouter les tremblements de terre, l'ensoleillement élevé, l'abandon des terres, les pointes très importantes qu'on constate dans les précipitations et enfin l'intervention de l'homme, le déboisement incessant des coteaux pour étendre les pâturages ou les zones de culture.

TERRASSEMENT, BOIS ET DIGUES

Toute intervention tendant à la conservation du sol doit tenir compte du fait que les déséquilibres font partie d'un cycle géo-morphologique naturel ; aussi, leur action ne peut être que contrôlée et retardée. Il faut intervenir aussi précocement que possible et non pas uniquement lorsque le déséquilibre s'est déjà réalisé. Cela exige la coopération de nombreux techniciens et l'établissement d'un programme, dont l'unité minimale considérée doit être un bassin hydrographique dans sa totalité. En général, on a recours à des remèdes indirects : le terrassement, le reboisement et la construction de digues, avec des bassins de retenue.

Le type de terrassement varie selon la nature du terrain et sa pente ; aux terrasses dont le rôle est de freiner l'érosion en ralentissant le ruissellement, on associe des canaux d'évacuation, en vue de permettre l'écoulement des eaux superflues à travers des parcours obligatoires.

La fonction essentielle de la couverture forestière est de retarder l'écoulement des eaux de pluie et d'agir comme filtre ; car les arbres favorisent la pénétration de l'eau dans le sol en l'ameublissant et évitent que cette eau ne se charge de boue. On obtient ainsi un double résultat : la conservation de la terre et la purification de l'eau. Mais, une fois un terrain déboisé, l'érosion accélérée s'installe et le reboisement devient très difficile.

Il convient ici de dissiper une confusion que l'on fait souvent entre l'action des arbres dans la conservation du sol et une éventuelle action dans la régulation des grandes crues. Il est évident que la couverture végétale ne peut rien à l'égard de précipitations de grande abondance et des crues qu'elles provoquent ; le ruissellement est ralenti mais non diminué en importance. Mais elle freine considérablement le décollement des particules de terrain. On peut affirmer que la forêt évite, en cas de crue, une trop grande turbidité des eaux, comme cela se produit lorsque le terrain est nu.

Enfin, en ce qui concerne la plaine, la défense du sol tend essentiellement à empêcher les inondations, en endiguant convenablement les eaux superficielles. Les ouvrages d'endiguement doivent être souvent complétés par des bassins de retenue tout le long du cours du fleuve, bassins qui ont, entre autres rôles, celui de décanter les eaux et d'éviter ainsi (ou plus précisément de retarder) l'élévation du lit du fleuve au-dessus de la plaine.

L'ÉNERGIE SOLAIRE

Le Soleil émet sans cesse la stupéfiante quantité d'énergie de 3,79 × 10^{23} kW, c'est-à-dire près de 400 000 milliards de milliards de kW ; un tel chiffre dépasse ce que notre imagination est capable de concevoir. Une partie de cette énergie se déverse sur la Terre avec une intensité considérable. Durant la période d'exposition au Soleil, chaque mètre carré de terrain reçoit environ 2 chevaux-vapeur, puissance énorme si l'on pense que les trains les plus importants sont mus par une énergie de 5 000 ch. De telles puissances se déversent pendant de nombreuses heures sur la surface terrestre, donnant lieu à un « transfert » permanent d'énormes quantités d'énergie entre le Soleil et la Terre ; les effets qui en résultent sont à la base de phénomènes fondamentaux concernant la surface de notre planète et, par conséquent, les conditions d'existence de l'homme.

L'énergie solaire, qui se déploie sur les mers, les fleuves, les lacs et les surfaces couvertes de végétation, provoque l'évaporation d'énormes quantités d'eau ; la vapeur s'élève à plusieurs kilomètres d'altitude et se rassemble en nuages qui se condensent ensuite pour donner des pluies. Or, ce sont justement les précipitations (pluie et neige) qui conditionnent le milieu naturel existant à la surface de la planète.

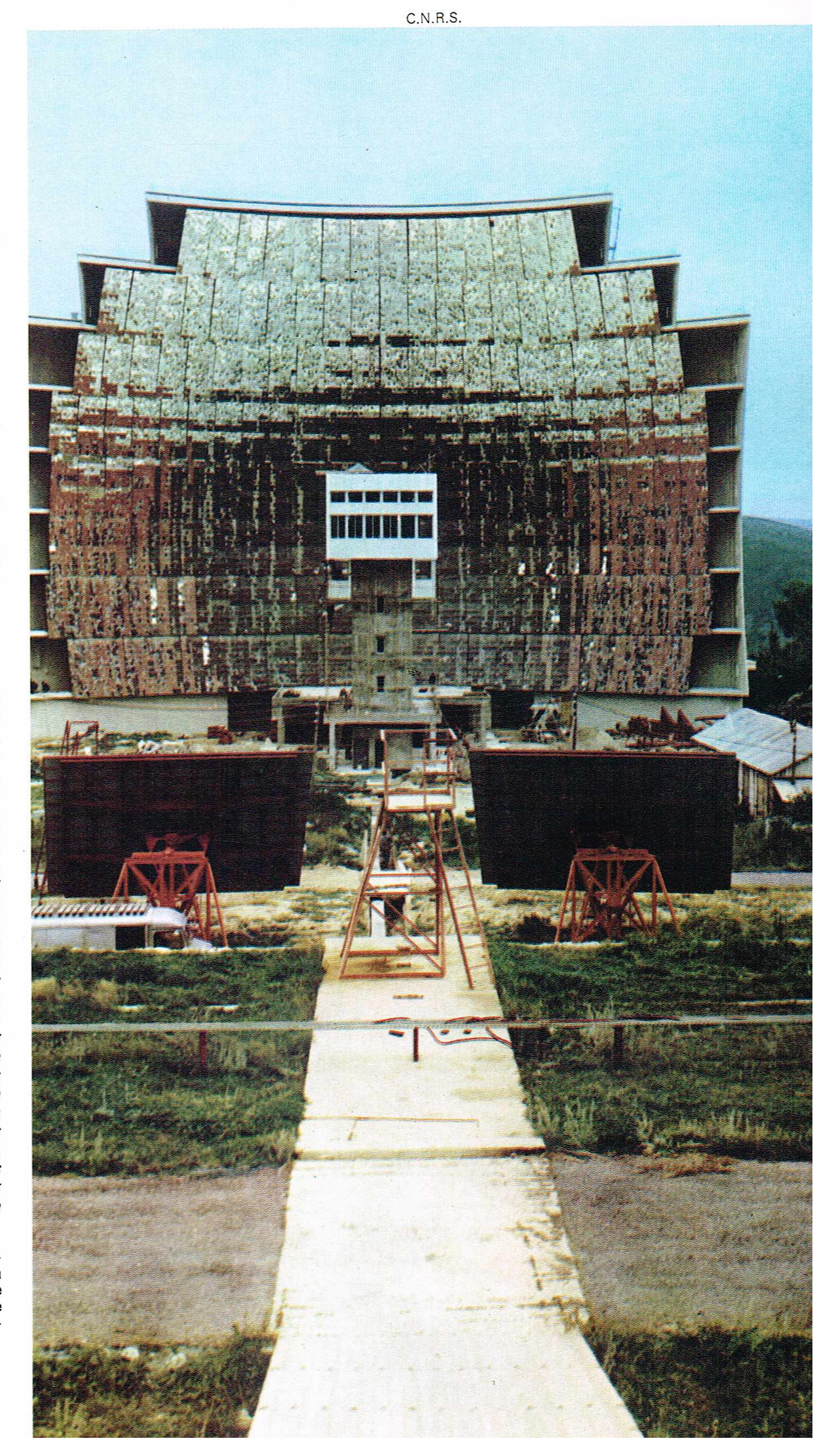
La vie des plantes est rendue possible par l'énergie solaire : la photosynthèse chlorophyllienne permet aux organismes végétaux de fixer le carbone, l'oxygène, l'azote, l'hydrogène et d'élaborer les molécules complexes que l'on trouve dans le tronc, les fruits, les graines. Sans énergie solaire, il n'y aurait pas de plantes, et la vie ne serait pas possible sur la planète.

DES MIROIRS PARABOLIQUES AUX FOURS SOLAIRES

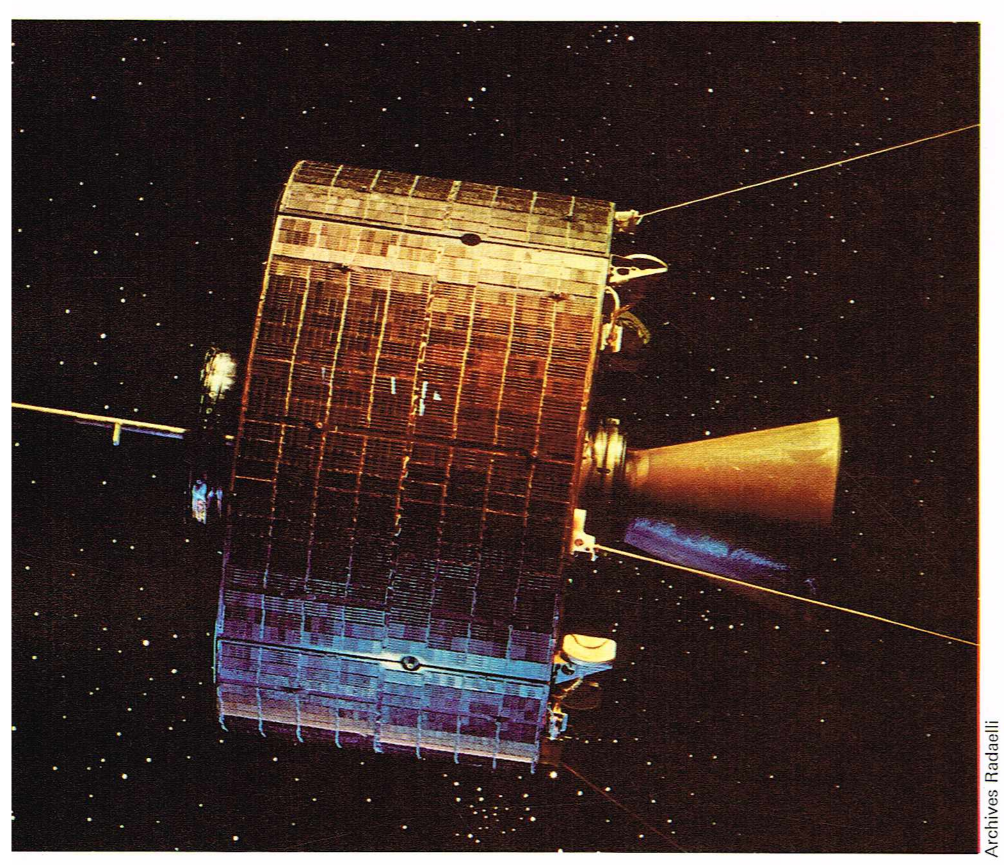
Directement ou indirectement, l'homme utilise de mille façons l'énergie solaire : il se nourrit de graines et de fruits, tire de l'énergie électrique des cours d'eau, utilise sous différentes formes le bois et les fibres végétales, brûle le charbon (constitué de plantes minéralisées), et extrait le sel des eaux de mer en provoquant l'évaporation de celles-ci sous l'action du Soleil, dans les salins.

Depuis longtemps les savants de tous les pays étudient la possibilité d'utiliser directement l'énergie solaire ; des expériences en ce sens se poursuivent depuis plusieurs dizaines d'années dans différents pays. Les obstacles qui s'opposent au développement des installations visant à utiliser l'énergie solaire sont tous d'ordre économique. Les quantités globales d'énergie qui parviennent à la surface terrestre sont énormes, mais réparties sur de vastes surfaces ; il est donc nécessaire, pour en envisager une utilisation pratique et économique, de réaliser la concentration de cette énergie. L'élément de base d'une installation solaire est donc, généralement, un miroir quasi parabolique, capable de concentrer sur une surface restreinte toute l'énergie qu'il reçoit. Ce système a permis de construire dans le passé des générateurs d'énergie électrique, d'actionner des machines à vapeur, dont la chaudière était chauffée par un miroir parabolique. Mais les rendements étaient loin d'être satisfaisants, puisque, avec des miroirs ayant plusieurs centaines de mètres carrés de surface, on n'obtenait que quelques chevaux de puissance ; de plus, ces miroirs n'étaient utilisables que

C.N.R.S.



Grand miroir parabolique du four solaire d'Odeillo-Font-Romeu dans les Pyrénées-Orientales. C'est la plus importante réalisation de ce type : disposant d'une puissance thermique d'environ 1 000 kW, ce four solaire est utilisé pour la cuisson de matériaux ultra-réfractaires (2 à 3 tonnes par jour).



Oso II (Orbiting Solar Observatory), satellite de la N.A.S.A. pour l'étude du Soleil; la surface extérieure est recouverte de cellules solaires destinées à la production de l'énergie électrique nécessaire au fonctionnement des appareils de bord.

par temps dégagé et uniquement à raison de quelques heures par jour. Le coût d'installations de ce genre, les frais d'exploitation et d'entretien, font que le prix de revient de ce type d'énergie est bien supérieur à celui de l'énergie électrique.

Plus intéressantes sont les installations répondant à une autre formule, dans lesquelles on se limite à chauffer, à l'intérieur de caissons très vastes, peints en noir, des quantités plus ou moins grandes d'eau, que l'on porte ensuite à une température élevée en utilisant les moyens conventionnels; dans certains cas, on peut obtenir une économie de combustible suffisamment importante pour que ces installations deviennent rentables.

Les serres, dont l'emploi s'étend et dont la structure se perfectionne progressivement, constituent un cas particulier. Une serre est formée de structures recouvertes d'un matériau transparent, verre ou matière plastique, protégeant les cultures. L'énergie du Soleil traverse ces couvertures et chauffe le terrain sous-jacent. La chaleur ainsi produite reste, du moins partiellement, à l'intérieur de la serre puisque l'air ne peut pas circuler. En particulier, l'air qui se réchauffe au contact du sol et qui aurait tendance à monter ne peut s'en échapper et se disperser dans l'atmosphère.

Les expériences que l'on effectue actuellement avec les « fours solaires » sont fort intéressantes. Ces installations comportent un ou plusieurs miroirs, qui concentrent l'énergie du Soleil à l'intérieur d'une zone circonscrite, convenablement protégée, où l'on peut atteindre une température proche de 4 000 °C; à cette température, tous les corps solides passent à l'état liquide ou gazeux. On espère obtenir grâce aux fours solaires des températures encore supérieures, mais à l'intérieur d'espaces très réduits, qui permettront d'effectuer des études sur la matière aux hautes températures. Réaliser de telles températures avec les méthodes conventionnelles de chauffage, par combustion ou par arc électrique, présente des difficultés technologiques considérables, justement à cause du fait que tous les corps solides se liquéfient.

Parmi les réalisations les plus récentes, signalons le four solaire d'Odeillo-Font-Romeu, dans les Pyrénées-Orientales, à l'intérieur duquel on fait cuire quotidiennement deux ou trois tonnes de matériaux ultra-réfractaires. Ce four comporte un grand miroir parabolique constitué par 3 500 petits miroirs (la construction d'un miroir parabolique d'un seul bloc ayant les mêmes dimensions serait d'un coût prohibitif et atteindrait les limites des possibilités technologiques actuelles). La puissance thermique maximale est d'environ 1 000 kW. En plus du miroir parabolique, l'installation comprend un miroir plan qui dirige vers le miroir parabolique les rayons solaires reçus par les 65 petits miroirs qui le composent, et que des servomécanismes orientent constamment vers le Soleil. Cette structure à deux miroirs a été adoptée pour rendre l'orientation des pièces mobiles plus simple et pour allonger le temps d'utilisation.

LES CELLULES SOLAIRES

Le problème de l'utilisation de l'énergie solaire s'est posé en termes tout à fait nouveaux avec l'avènement de l'ère spatiale, ce type d'énergie étant tout à fait approprié pour alimenter les appareils de bord des satellites et sondes destinés à demeurer très longtemps en activité. Pour cette application, le coût des dispositifs passe au second plan, puisque ce qui importe le plus, c'est la réduction de l'encombrement et du poids, la facilité de pose, et la durée de fonctionnement. Après quelques années d'expérience, on peut considérer que le choix s'est fixé désormais sur les « cellules solaires », que l'on place à l'extérieur du satellite, soit sur le corps même, soit sur des panneaux que celui-ci met automatiquement en position une fois sur orbite, et que les appareils de bord maintiennent toujours orientés de manière à recevoir perpendiculairement ou presque les rayons du Soleil. Les éléments actifs de ces cellules solaires sont de petits granules de silicium très pur, qu'on a exposés sur une partie de leur surface à des vapeurs de bore. Cette surface est donc « souillée » par un certain nombre d'atomes de bore. Les granules sont ensuite fixés par la partie « propre » à une plaque de métal, ou simplement métallisée, donc conductrice de l'électricité, et forment ainsi une « cellule » de quelques centimètres carrés.

Lorsque les photons, c'est-à-dire les « grains » de lumière, abordent le granule, ils sont absorbés en surface et confèrent aux électrons présents une quantité d'énergie supplémentaire, jusqu'à ce qu'ils acquièrent une énergie suffisante pour se « détacher » de la zone comportant des impuretés de bore, et se transporter dans la zone sous-jacente de silicium pur. Si les deux zones sont insérées dans un circuit, celui-ci est parcouru par un courant électrique, chaque granule engendrant un courant de très faible intensité. Le courant ne devient appréciable que si les plaquettes, ou cellules, sont reliées en série et en parallèle par centaines ou par milliers.

La durée de vie de ces cellules solaires est très longue; le premier satellite artificiel à les utiliser fut Vanguard I, *lancé en 1958; la puissance développée était extrêmement modeste (à peine 1/600*^e^ *de watt), mais elle s'accrut rapidement : les photo-cellules de* Mariner IV, *par exemple, développaient deux cents watts et celles des gigantesques* Proton, *disposées sur 4 panneaux d'environ un mètre carré chacun, fournissaient plusieurs kilowatts.*

Les cellules solaires peuvent être utilisées directement pour alimenter les appareils de bord sans l'intervention d'accumulateurs chimiques. Mais il est généralement préférable de les utiliser pour recharger des batteries d'accumulateurs de type conventionnel. Ainsi, lorsque les appareils de bord absorbent peu d'énergie, les batteries solaires sont suffisantes, tandis que dans les périodes de forte consommation, les batteries chimiques contribuent à les alimenter; ces dernières sont ensuite rechargées durant les périodes où l'énergie absorbée est inférieure à celle engendrée par les batteries solaires. Dans d'autres cas, on peut disposer de deux groupes de batteries, qui, commutés par un dispositif automatique, sont mises alternativement en charge et en service pour alimenter les appareils de bord. Récemment, une automobile électrique a été mise au point, dont les accumulateurs sont chargés par des batteries solaires; son autonomie est toutefois très limitée. Il s'agit d'une simple curiosité technique, dépourvue de toute utilité pratique et destinée uniquement à servir de démonstration.

LES RESSOURCES OCÉANIQUES

Dans leur immense étendue, les océans constituent une formidable réserve de ressources vivantes, énergétiques et minérales. Couvrant 71 % de la surface de la planète, les océans représentent 360 millions de kilomètres carrés (les terres immergées couvrent 150 millions de km²) pour un volume de 1 300 millions de km³.

L'augmentation prévisible de la population mondiale — dans 30 ans, le globe comptera quelque 7 milliards d'hommes —, l'accroissement des besoins qui en résultera, le surencombrement des terres émergées, la boulimie de la société industrielle dévoreuse d'énergie et de matières premières incitent les nations industrialisées à prospecter et mettre en valeur les immenses ressources océaniques.

La prise de conscience des perspectives économiques offertes par les possibilités du monde sous-marin a donné aux recherches une nouvelle dimension et conduit à considérer l'océan comme un volume et une épaisseur, et non plus seulement comme une surface. La science et la technique ont ainsi développé toutes sortes de recherches et de réalisations afin d'exploiter les immenses ressources marines.

LES RESSOURCES VIVANTES

Connue depuis l'aube de l'histoire, la pêche est pratiquée selon les techniques les plus variées, dans toutes les mers du monde, et fait aujourd'hui appel aux techniques les plus modernes.

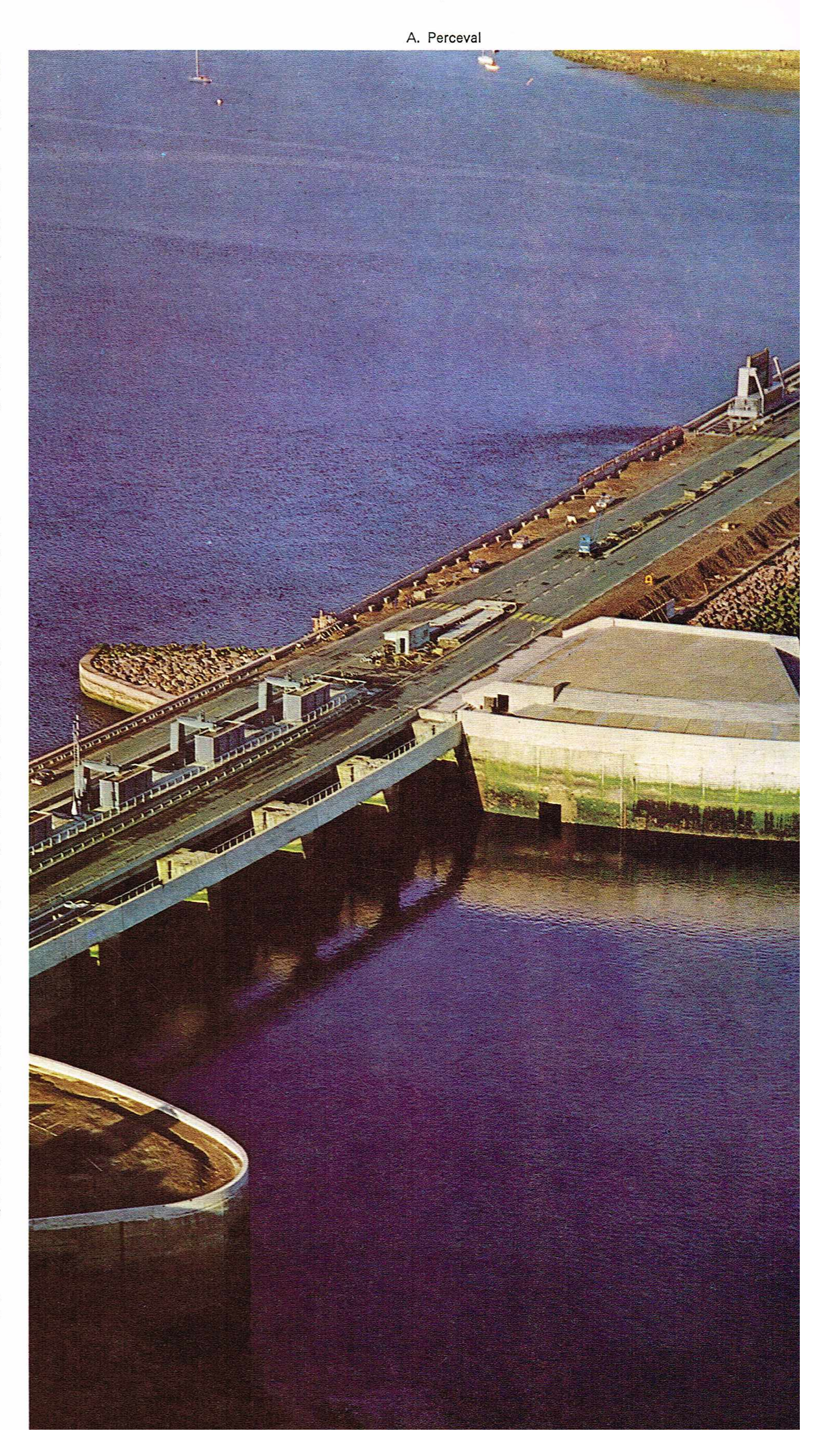
Actuellement chaque année 70 millions de tonnes de poissons — 2 à 3 % de la production alimentaire mondiale — sont pêchées dans le monde. Parmi les productions annuelles les plus importantes, on trouve celles du Japon et du Pérou (10 millions de tonnes de poissons chacun), de l'Union soviétique (environ 7 millions de tonnes de poissons), de la Chine (6,8 millions de tonnes), de la Norvège (3 millions de tonnes), des États-Unis (2,7 millions de tonnes). Au niveau européen, l'ensemble de la Communauté économique européenne est largement importateur de poisson, et le déficit de la balance européenne du commerce extérieur des produits de la mer dépasse largement l'équivalent de 3 milliards de francs. Ainsi la production annuelle italienne ne dépasse-t-elle pas 200 000 tonnes, la production française 700 000 tonnes.

L'accroissement mondial du rendement de la pêche dans la dernière décennie est dû à l'amélioration des équipements, notamment à l'emploi de sondes électroniques qui permettent de localiser le poisson et de pratiquer une pêche intensive. Mais cet accroissement ne va pas sans provoquer un certain danger pour les ressources vivantes des océans.

La situation de cette exploitation est paradoxale. En effet les quantités pêchées dans le monde n'atteignent pas encore l'optimum des possibilités de capture estimées aujourd'hui aux environs de 100 millions de tonnes. Or l'on assiste à la disparition de certaines populations de poissons : anchois au large du Pérou, hareng de la mer du Nord, thons de l'Atlantique ou du Pacifique Nord.

Aussi, afin de préserver le capital de ressources vivantes des océans, un double effort de rationalisation des méthodes de pêche et de diversification des techniques de développement, la recherche de nouvelles zones de production (Caraïbes, Antarctique) sont-ils aujourd'hui entrepris.

A. Perceval



La digue sur l'estuaire de la Rance (Côtes-du-Nord). La centrale marémotrice de la Rance, qui exploite le mouvement des marées, esr capable de produire 550 millions de kWh d'électricité par an.



Ostman-H. Fristedt

Bateaux pour la pêche à la morue, à Lofoten (Norvège). La pêche avec une production mondiale annuelle dépassant les 50 millions de tonnes, constitue la principale forme d'exploitation des ressources marines.

LES ALGUES

La mer ne renferme pas que des espèces animales, elle contient aussi une multitude de produits végétaux aptes à la consommation ou à l'utilisation industrielle, parmi lesquels les algues. En Extrême-Orient, depuis des siècles, on utilise les algues comestibles. Ainsi au Japon la culture d'algues rouges, dont la consommation dépasse celle du poisson ou de la viande, occupe-t-elle 300 000 personnes. Ces algues sont cultivées dans de véritables prairies que les marées couvrent et découvrent.

Des installations pour le traitement des algues ont également été créées en France, en Espagne, aux États-Unis, aux îles Canaries, au Chili, au Canada, au Brésil, en Indochine. Elles sont utilisées dans un nombre infini d'emplois : industrie alimentaire, industrie du verre, du savon, des détergents, des lubrifiants, des produits pharmaceutiques, des produits de beauté, des produits textiles, dans l'agriculture, dans la pâtisserie (agar-agar), dans l'industrie papetière, dans la floriculture, dans l'industrie chimique. Mais un grand avenir semble réservé à une algue microscopique monocellulaire, Chlorella, *capable d'absorber 30 fois plus d'énergie solaire que le blé, de multiplier son poids par 8 en l'espace de 24 heures et de donner plus de 60 tonnes de récolte par hectare, fournissant ainsi d'énormes quantités de protéines et de graisses.*

Le plancton *(ensemble de matière organique formé d'algues microscopiques, de petits animaux, au total plus de 500 000 êtres en suspension dans un litre d'eau de mer) constitue une autre ressource alimentaire importante (300 g par m³ d'eau). Les premières industries destinées à exploiter le plancton sont nées en Thaïlande et aux États-Unis.*

L'AQUACULTURE OU ÉLEVAGE DES ANIMAUX MARINS

Bien que les possibilités océaniques soient grandes pour « fabriquer » des matières consommables par l'homme, cette fabrication est lente, et ne peut répondre seule aux besoins alimentaires de l'humanité. Aussi de nombreux pays, le Japon, les États-Unis, le Canada, les pays européens travaillent-ils à la mise au point de méthodes d'élevage d'animaux marins permettant de contrôler totalement un cycle complet de production de protéines. Sur une production annuelle mondiale de 70 millions de tonnes de poissons, on peut estimer à 15 % la contribution de l'aquaculture, essentiellement mollusques en espaces clos. L'aquaculture en milieu fermé permet de contrôler à tous les stades le développement des individus.

Ainsi les résultats obtenus en France en matière d'aquaculture, notamment dans le cadre du Centre océanologique de Bretagne situé près de Brest, et du Centre océanologique du Pacifique à Tahiti, portent-ils sur la reproduction et le grossissement de plusieurs espèces, et incitent-ils à passer progressivement du stade expérimental au stade de la production industrielle.

LES RESSOURCES MINÉRALES OCÉANIQUES

Tous les minéraux pratiquement existent dans l'eau de mer. Dans un seul kilomètre cube d'eau de mer (l'océan représente 1 milliard 375 millions de km³) on trouve en solution 35 millions de tonnes de sel, 66 000 tonnes de brome, 50 tonnes d'iode, 3 tonnes d'étain, 1 tonne de titane, 4 kilos d'or et de l'uranium.

Aussi la production marine de sel représente-t-elle 30 % de la production totale, celle de brome 70 % et celle de magnésium 60 % de la production mondiale.

De plus l'investigation des richesses des plateaux continentaux commence. Des gisements diamantifères sous-marins sont exploités depuis quelques années en Afrique du Sud : leur production est sur le point de dépasser celle des gisements terrestres. En Alaska, on extrait de l'or des fonds de la mer, en Malaisie de l'étain, au Japon (baie de Tokyo) du fer.

Mais les ressources minérales océaniques qui sont actuellement l'enjeu de la plus vive compétition mondiale, sont les dépôts de nodules polymétalliques des grands fonds marins. Concrétions noirâtres, de forme sphérique, situées à des profondeurs de 1 000 à 4 000 mètres, les nodules polymétalliques sont constitués pour la plupart d'oxyde de manganèse et de fer, avec des teneurs parfois intéressantes de cuivre, de nickel, de cobalt et autres minerais. On estime généralement que les réserves totales du seul océan Pacifique sont de l'ordre de 1 600 milliards de tonnes de nodules polymétalliques.

Plusieurs pays se sont déjà engagés sur le chemin de l'exploration et de la préparation à l'exploitation de ces ressources, par l'intermédiaire de consortiums internationaux notamment. En France, le Centre national pour l'exploitation des océans, le Commissariat à l'énergie atomique, la Société métallurgique le Nickel, les Chantiers de France Dunkerque mènent en commun des travaux dans ce domaine.

LES RESSOURCES ÉNERGÉTIQUES DES OCÉANS

L'océan constitue, en outre, une gigantesque réserve d'énergie.

Les gisements de pétrole en mer entrent déjà pour près de 20 % dans la production mondiale de brut. En 1980, ils fourniront 25 à 30 % de la consommation mondiale de pétrole, estimée à 4,2 milliards de tonnes. D'après une étude effectuée par les Nations unies, les réserves de pétrole en mer représentent 300 milliards de tonnes, soit environ quatre fois les réserves terrestres. Les réserves prouvées s'élèvent à 18 milliards de tonnes et représentent 22 % des réserves totales.

Dès 1864, le premier puits de pétrole était foré à El Santo (côte péruvienne). A partir de 1918, les forages se sont multipliés en Californie, dans le golfe du Mexique — au Venezuela —, dans le golfe Persique, en mer du Nord, en mer Caspienne.

L'exploitation n'intéresse encore que des tranches d'eau d'une profondeur inférieure à 200 mètres, mais les programmes à court terme visent les tranches de 500 à 600 mètres pour les forages d'exploration et de 300 à 400 mètres pour l'exploitation dans les zones calmes.

En 1960, les États-Unis et le Venezuela fournissaient 90 % de la production de pétrole « offshore », aujourd'hui, ils n'en fournissent plus que la moitié, les deux tiers restant proviennent du Moyen-Orient, le golfe Persique offrant aux pétroliers des conditions d'environnement favorables. Les gisements de la mer du Nord produisent 2 millions de tonnes par an et pourraient en produire près de 250 dans les années à venir.

LES MOYENS DE L'EXPLORATION SOUS-MARINE

Bien qu'il ait réussi à débarquer sur la Lune et à envoyer des sondes d'exploration sur Vénus et vers Mars, l'homme est loin d'avoir exploré totalement le globe terrestre. Le fond des mers et les eaux profondes offrent en particulier aux chercheurs un prodigieux champ d'investigation, qu'il s'agisse de la faune et de la flore sous-marines, de la structure géologique des fonds océaniques, des caractéristiques hydrologiques des masses et des courants marins, ou de l'étude des villes englouties et des navires naufragés qui renseignent les archéologues sur les civilisations passées. C'est à cette investigation que se consacre l'océanologie.

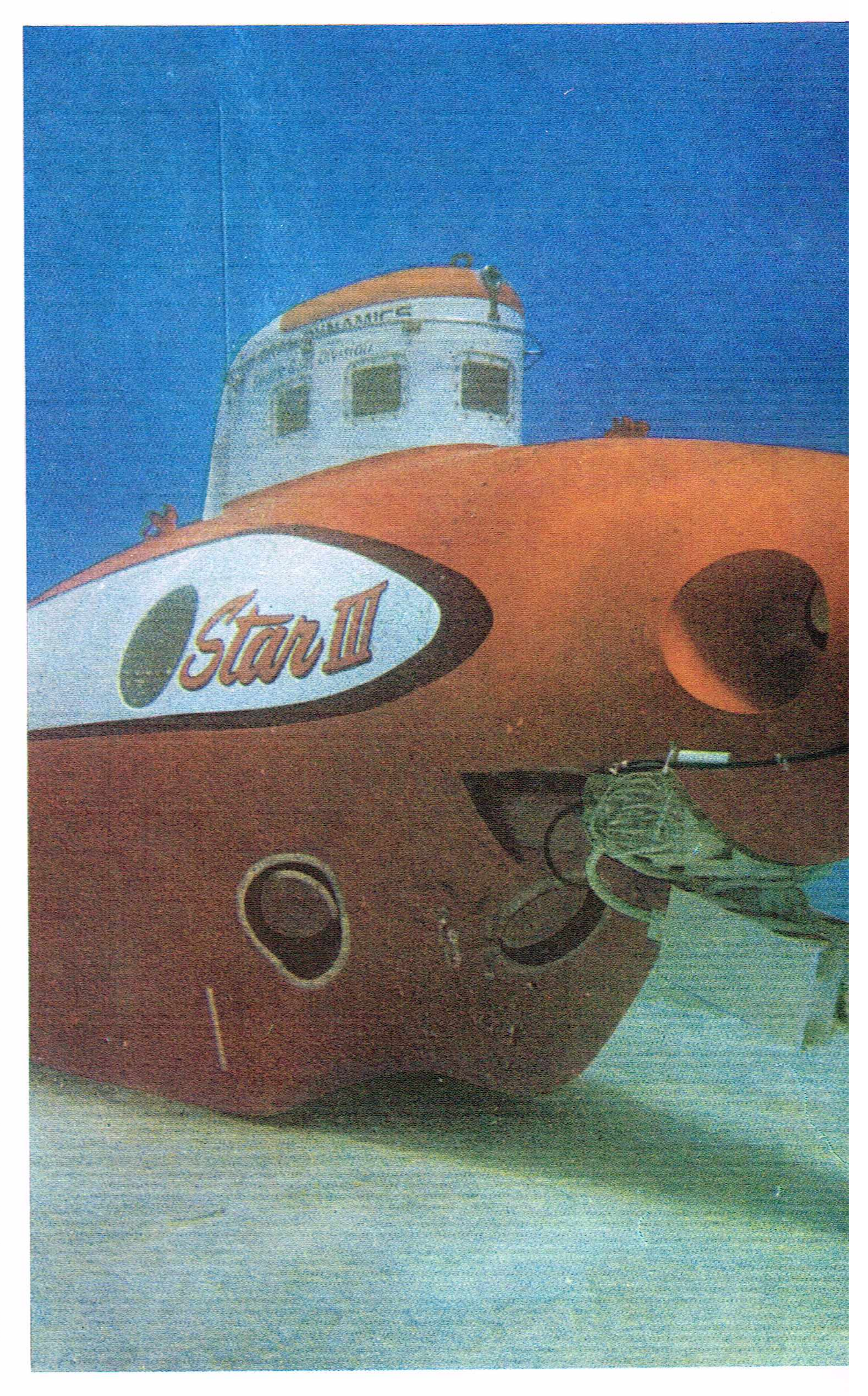
1° Les moyens de surface : les navires-laboratoires

Les grandes campagnes à la mer menées par les navires océanographiques apportent ainsi à la communauté scientifique des éléments de connaissance nécessaire à l'exploration et à l'exploitation des ressources océaniques.

Les navires de recherches océanographiques conçus comme des supports d'instrumentation sont dotés de moyens de navigation leur permettant de se situer avec la plus grande précision tant à la surface que par rapport au fond : navigation par satellites, radiolocalisation, sonars, émetteurs et récepteurs acoustiques. Ils sont par ailleurs munis de moyens de traitement rapide des informations permettant sondages, mesures et prélèvements. Ainsi, des instruments portés par des bouées à ancre fixe ou mobile permettent-ils de mesurer la vitesse et la direction des courants aux différentes profondeurs, et les caractéristiques physiques de l'eau. Ce type de navire est en outre muni d'une série de sondeurs à écho, qui permettent de dessiner le profil du fond marin. La structure des couches profondes est étudiée grâce à des gravimètres maintenus à une faible distance du fond ou posés sur le fond, magnétomètres à protons, émetteurs de signaux acoustiques à basse fréquence, recueillis par des hydrophones. Un tel navire-laboratoire dispose aussi d'appareils photographiques, capables de travailler sous l'eau; il peut prélever des échantillons d'eau ou, à l'aide de filets spéciaux, de plancton à différentes profondeurs; il peut plonger des thermomètres pour mesurer la température du fond, des bennes pour prélever des échantillons superficiels, et des « carottiers » pour les prélèvements profonds. Ces instruments, constitués d'un tube doté d'une série d'organes perforateurs, permettent de prélever des échantillons cylindriques, ou « carottes », qui aident à déterminer de manière précise la structure géologique du plancher océanique.

Telles sont les caractéristiques des immenses navires « Académiciens » soviétiques comme des petits navires de recherche, d'observation et de soutien (N. O. R. O. I. S.) français ou des navires américains mus par propulseurs cycloïdaux.

Les observations directes sont effectuées par des hommes-grenouilles qui, équipés d'appareils respiratoires à air ou à oxygène, peuvent opérer jusqu'à 80 mètres, ou par des scaphandriers, qui peuvent descendre à plus de 300 mètres. Ainsi une équipe de plongeurs de la Compagnie maritime d'expertises C. O. M. E. X. française a-t-elle récupéré en juin 1975 à la profondeur de 326 mètres en zone arctique du matériel pétrolier de grande valeur endommagé par la tempête.



Le *Star III*, l'un des nombreux engins mis au point aux États-Unis pour l'exploration sous-marine; il est capable de descendre à 600 m de profondeur avec un équipage de 2 hommes.

2° Pénétration de l'homme dans le milieu marin à bord d'engins submersibles

Certains des engins sous-marins capables d'effectuer directement des explorations à différentes profondeurs sont télécommandés et automatiques, fonctionnant sans équipage, par exemple les Rum (Remote Underwater Manipulator), *les* Mobut (Mobile Ocean Bottom Observation) *et les* Curv (Controlled Underwater Research Vehicle).

D'autres, de petites dimensions et prévus pour de faibles profondeurs, transportent un ou deux hommes-grenouilles munis d'un équipement sous-marin conventionnel (comme les engins italiens Cosmos, *les français* Scooter, *les américains* Pegaso).

Toutefois, les modèles les plus intéressants sont ceux qui permettent le transport d'un équipage dans des conditions de pression et de température normales.

De tels engins sont dotés d'appareils de photo et de caméras, dispositifs extérieurs qui, actionnés par les membres de l'équipage, permettent des opérations plus ou moins complexes, comme l'utilisation d'instruments de mesure, de bouteilles de prélèvement, de bennes, etc. On divise habituellement ces engins en trois groupes, selon qu'ils opèrent à une profondeur faible (environ 500 m), moyenne (jusqu'à 1 000-1 500 m) ou à des profondeurs supérieures (2 000 à 12 000 m et même plus).

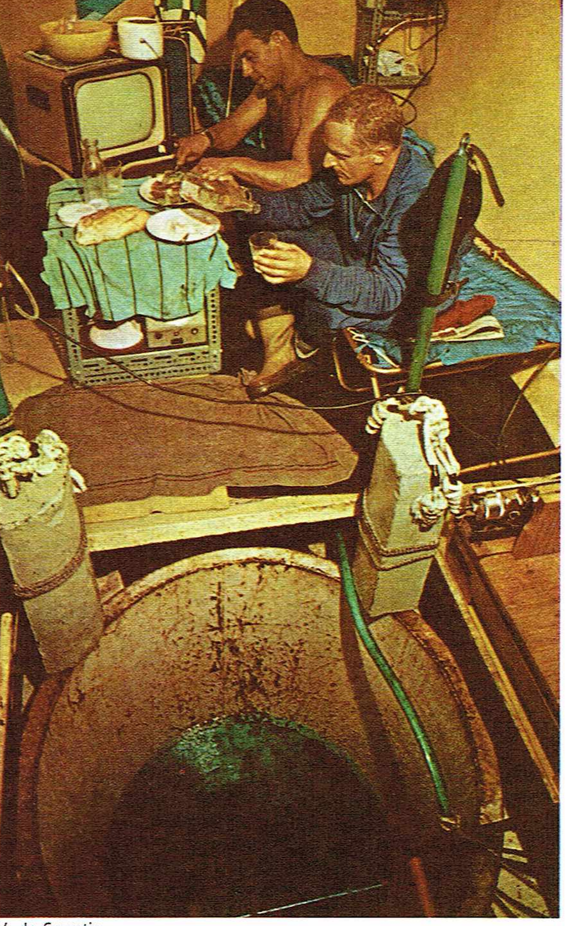
Au premier groupe appartiennent par exemple les Star *de la General Dynamics, dont le premier descend jusqu'à 60 m, le deuxième jusqu'à 360 et le troisième jusqu'à 600, ainsi que le petit biplace* Asherad, *le plus facile à transporter, et le* Beaver IV *qui, à la différence des précédents, possède deux bras de manœuvre extérieurs assez complexes, capables d'accomplir des manipulations d'une grande précision.*

Pour des profondeurs moyennes, il existe par exemple le complexe Deep Quest, *transportant trois unités, dont une remplaçable.*

La gamme des engins pour les grandes profondeurs est encore plus vaste; elle comprend, entre autres, l'Aluminault, *destiné aux recherches minéralogiques et pétrolières, à 4-6 places, deux bras de travail extérieurs, capable de descendre jusqu'à 4 500 m, le* Deep-Sub-Rescue, *destiné à remonter à la surface l'équipage de sous-marins bloqués au fond; il peut descendre jusqu'à 1 800 m et transporter jusqu'à 24 hommes. Très perfectionné du point de vue technique est le* Trieste II, *capable de descendre, avec trois hommes d'équipage, au-dessous de 10 000 m; il comporte deux bras de travail extérieurs, trois caméras, des réservoirs d'eau, d'air et d'essence, pour les manœuvres d'immersion et d'émersion, et possède une autonomie de 10 heures.*

Un « scooter » sous-marin à hélice, qui permet aux hommes-grenouilles de se déplacer rapidement.


V. de Sanctis


V. de Sanctis

Deux océanographes dans leur « maison sous la mer ».

L'opération franco-américaine F. A. M. O. U. S. (French American Mid Oceanic Undersea Survey) d'exploration par submersible d'une partie de la dorsale médio-atlantique au cours des étés 1973 et 1974 est un exemple de l'utilisation de submersibles et de sous-marins profonds pour la recherche océanographique.

Du côté français, le bathyscaphe « Archimède » capable de descendre à 11 000 mètres de profondeur, et la soucoupe plongeante « Cyana », petit sous-marin d'intervention autonome plongeant depuis le navire de soutien « Le Noroit », participaient aux deux phases de l'opération. Du côté américain, a participé à la deuxième phase de l'opération, la seule phase franco-américaine, au cours de l'été 1974, le submersible « Alvin ». Cette opération qui a permis de vérifier et compléter au large des Açores, à trois mille mètres sous la surface de l'océan, une théorie géophysique fondée sur des mesures effectuées jusqu'à présent depuis la surface, et de mettre en évidence le processus de formation de dépôts minéraux d'origine hydrothermale, a permis en outre de tester une nouvelle technologie. L'utilisation de submersible capable de photographier, de prélever et de réaliser de véritables coupes géologiques a, en effet, permis de vérifier « sur le terrain » des hypothèses géophysiques formulées depuis la surface.

La réalisation d'engins plus grands et plus complexes, destinés à demeurer sur le fond pendant de longues périodes et à permettre à un équipage (qui peut être relayé) d'effectuer des travaux de plus longue durée, fait par ailleurs l'objet de recherches.

Appartiennent à cette catégorie les maisons sous la mer *du commandant Cousteau, expérimentées à des profondeurs croissantes, de 11 à plus de 50 m, et les* Sealab *américains, dont la version III, dotée d'une autonomie de 1 500 heures, permet à un équipage de 8 hommes, séjournant dans une atmosphère d'azote, d'hélium et d'oxygène, d'effectuer des opérations longues et complexes à une profondeur maximale de 180 m.*

LA CHIMIE

L'homme ne se contente pas d'utiliser les substances naturelles ; il a appris, au cours des temps, en perfectionnant sans cesse sa connaissance de la matière, à transformer cette dernière pour obtenir des produits susceptibles de satisfaire ses besoins économiques, toujours plus nombreux et diversifiés.
C'est ainsi que la chimie joue un grand rôle dans le monde moderne. Qui peut ignorer aujourd'hui la prépondérance de la pétrochimie, l'importance dans notre vie des matières plastiques, des fibres synthétiques, etc. ?
Nous ne pouvons évoquer ici toutes les applications de la chimie, lesquelles sont innombrables, aussi avons-nous choisi de ne retenir que quelques exemples caractéristiques.

LA PÉTROCHIMIE

Définie comme la chimie dérivant du pétrole brut et des gaz naturels, la pétrochimie a, en deux décennies, conquis la quasi-totalité de la chimie organique industrielle. Alors qu'en Europe, au début des années 50, la part du pétrole et des gaz naturels dans la chimie organique était d'environ 5 %, elle atteint actuellement un chiffre voisin de 95 %. La production mondiale de produits pétrochimiques est de 85 millions de tonnes par an et le nombre de ces produits atteint plusieurs milliers. Ces chiffres attestent l'extraordinaire développement pris par la pétrochimie dont le taux moyen annuel de croissance a été de 15 % entre 1950 et 1970. La pétrochimie est devenue une branche prépondérante de l'industrie chimique qui se caractérise par un niveau élevé de technicité et une perpétuelle évolution. Elle doit son développement spectaculaire au fait qu'elle a bénéficié des techniques de production en très grands tonnages qui caractérisent la technologie pétrolière. Les traitements en continu, l'augmentation de la taille des unités productrices, l'automatisation à toutes les étapes de la fabrication et du conditionnement ont contribué à abaisser progressivement les prix de revient tout en améliorant la qualité des produits. Parmi toutes les industries de « première transformation », c'est-à-dire destinées à traiter un produit brut en vue soit de la production du produit fini qui sera utilisé tel quel, soit d'autres produits destinés à subir des traitements ultérieurs, la pétrochimie est celle qui a connu l'histoire la plus complexe et les innovations les plus nombreuses.

En effet, ce que l'on demande à l'industrie de l'acier, par exemple, ce sont des alliages légèrement différents, des profilés de formes et de dimensions variables, mais tout cela ne modifie pas profondément les techniques de production. L'industrie du ciment fournira des ciments aux caractéristiques diverses, mais toujours à l'intérieur d'une gamme limitée. Quant aux industries qui produisent, par exemple, de l'acide sulfurique, de l'ammoniac, des nitrates, de la soude, etc., leur activité devient certes de plus en plus importante, mais ce que l'on attend d'elles, c'est une plus grande pureté des produits et une amélioration de la technologie tendant à réduire les coûts de production.

Les choses diffèrent pour la pétrochimie, car la demande des divers produits issus de la distillation du pétrole a subi des variations profondes et tout donne à penser que la diversification se poursuivra encore dans les prochaines années. Pendant longtemps, les produits les plus recherchés de la distillation du brut ont été les essences ordinaires, adaptées aux besoins des moteurs automobiles, et les essences dites d'aviation, plus légères, adaptées aux moteurs à piston utilisés par l'industrie aéronautique. Le kérosène, fraction de la distillation qui suit les essences dans l'ordre des « températures » d'ébullition croissantes, était largement utilisé, mais dans des applications relativement limitées : lampes et réchauds « à pétrole », très employés avant l'extension de l'électrification, ce qui lui a valu le nom de pétrole lampant.

Les huiles pour moteurs Diesel faisaient l'objet d'une demande fort réduite, en raison du nombre très modeste des moteurs de ce type ; moins importants encore étaient les produits plus lourds, comme le fuel domestique, car le charbon occupait une place prépondérante aussi bien dans l'industrie que dans l'économie domestique. Quant aux fractions plus légères, qui se dégagent spontanément à l'extraction (gaz de tête) et que l'on recueille dans les différentes phases de distillation ainsi qu'à l'occasion des traitements successifs, leur valeur commerciale était autrefois pratiquement insignifiante.



SEID

Sphère pour le stockage d'oléfines liquides. Les oléfines appartiennent au groupe des composés aliphatiques, dont l'élément de base est le méthane.

Ainsi, pendant de longues années, l'effort des spécialistes se dirigea vers la production du produit le plus demandé : l'essence, en soumettant les huiles intermédiaires issues de la première distillation à des traitements ultérieurs faisant appel aux techniques du cracking, thermique ou catalytique, qui consistent à « casser » une partie des molécules complexes typiques des huiles moyennes en molécules plus petites, caractéristiques des essences. Ces efforts donnèrent des résultats de plus en plus intéressants, à tel point que le rendement en essences atteignit 40 % environ en poids du brut. Pendant ce temps, l'emploi du kérosène baissait dans des proportions considérables, tandis que la demande de fuel pour diesel (gas-oil) et de fuel de chauffe (emplois industriels) croissait considérablement. Cette situation, stabilisée vers les années quarante, subit une série de changements fondamentaux, consécutifs à différentes causes économiques et technologiques ; il s'ensuivit une véritable révolution sur le plan commercial, bouleversant la

demande des divers types d'hydrocarbures dérivés du pétrole.

Tout d'abord, la diffusion rapide de l'avion comme moyen de transport, plutôt que d'agir sur la demande d'essence « avion », provoqua une augmentation spectaculaire de la demande de kérosène, augmentation qu'il était impossible de prévoir quelques années auparavant; en effet, l'aviation délaissait le moteur à piston pour adopter les turboréacteurs, qui fonctionnent précisément au kérosène. Dans le même temps, dans les domaines maritime et ferroviaire, le moteur Diesel de moyenne et de grande puissance supplantait la machine à vapeur, amplifiant encore la demande de gas-oil. Simultanément, le chauffage domestique se transformait, passant, en l'espace de quelques années seulement, de l'utilisation du charbon au gas-oil domestique. En outre, la demande d'hydrocarbures légers est devenue d'un seul coup infiniment plus importante, non seulement par suite de l'extension du marché des gaz liquéfiés aux emplois domestiques, mais surtout en raison du fait que l'industrie des matières plastiques en exige des quantités de plus en plus importantes comme matières premières.

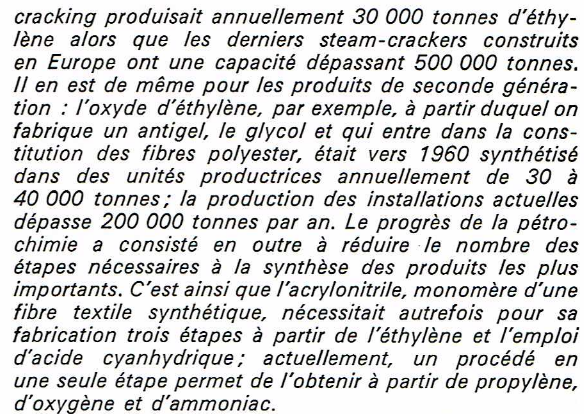
Les essences auto, bien que produites en quantité suffisante, ont dû suivre par leur qualité l'évolution rapide des moteurs automobiles dont le taux de compression augmentait sans cesse. Une véritable « course à l'octane » s'est instaurée dans les milieux pétroliers, qui a favorisé l'évolution d'une technique ayant pour but d'augmenter la teneur en aromatiques des essences : il s'agit du reforming catalytique. Enfin, les progrès réalisés dans les moteurs ont nécessité des progrès parallèles dans les huiles lubrifiantes extraites des fractions lourdes du pétrole brut.

L'ensemble des opérations physiques et chimiques par lesquelles le pétrole brut est transformé en gaz liquéfiés, essences, kérosène, gas-oil, huiles lubrifiantes, etc., constitue le raffinage du pétrole.

La pétrochimie, qui, au départ, du pétrole et des gaz naturels conduit aux matières plastiques, aux fibres synthétiques, aux caoutchoucs synthétiques, aux détergents, aux pesticides, etc., s'est développée après le raffinage. En Europe, son développement a commencé pendant et après la Seconde Guerre mondiale et elle a rapidement supplanté la carbochimie qui ne pouvait suivre le développement rapide de la demande. La concurrence de la pétrochimie vis-à-vis de la carbochimie a eu deux raisons majeures : d'une part, le charbon ne pouvait plus fournir les intermédiaires de base à des prix compétitifs, d'autre part, la cokéfaction se développait à un rythme beaucoup plus lent que celui de la chimie organique.

Le procédé de base de la pétrochimie est le steam-cracking (craquage à la vapeur) qui, à partir d'une fraction de distillation du pétrole brut appelée naphta fournit de l'éthylène, du propylène, du butadiène et d'autres oléfines à quatre et à cinq atomes de carbone, ainsi qu'une essence à haut indice d'octane. Par ailleurs, le reforming catalytique, utilisé en raffinage pour préparer des essences, peut aussi servir à la préparation d'aromatiques : benzène, toluène et xylènes essentiellement. Les oléfines du steam-cracking et les aromatiques du reforming constituent les intermédiaires de première génération de la pétrochimie. A partir de ceux-ci, par des transformations chimiques portant sur des tonnages parfois énormes, on synthétise des intermédiaires de seconde génération, tels le styrène, le chlorure de vinyle, le cyclohexane ou l'acide téréphtalique. Ces intermédiaires de seconde génération conduisent à des produits finis : polystyrène, polychlorure de vinyle, Nylon, Tergal, etc. A ce stade, on n'est pas encore au niveau du produit de consommation et de très nombreuses transformations chimiques ou physiques sont nécessaires avant d'arriver aux pneus, aux fibres synthétiques ou aux détergents.

Ainsi, du brut au produit fini, les transformations chimiques sont nombreuses. Chaque étape doit se faire avec le rendement le meilleur et le prix le plus bas. Pour atteindre ces buts, la production en continu portant sur des volumes de plus en plus importants devient nécessaire. C'est ainsi qu'en 1950, une installation de steam-cracking produisait annuellement 30 000 tonnes d'éthylène alors que les derniers steam-crackers construits en Europe ont une capacité dépassant 500 000 tonnes. Il en est de même pour les produits de seconde génération : l'oxyde d'éthylène, par exemple, à partir duquel on fabrique un antigel, le glycol et qui entre dans la constitution des fibres polyester, était vers 1960 synthétisé dans des unités productrices annuellement de 30 à 40 000 tonnes; la production des installations actuelles dépasse 200 000 tonnes par an. Le progrès de la pétrochimie a consisté en outre à réduire le nombre des étapes nécessaires à la synthèse des produits les plus importants. C'est ainsi que l'acrylonitrile, monomère d'une fibre textile synthétique, nécessitait autrefois pour sa fabrication trois étapes à partir de l'éthylène et l'emploi d'acide cyanhydrique; actuellement, un procédé en une seule étape permet de l'obtenir à partir de propylène, d'oxygène et d'ammoniac.




Montécatini-Edison

Installation pour la production de l'urée, substance organique employée comme engrais, comme aliment du bétail et comme matière première pour la production de certaines matières plastiques.

Outre les problèmes de prix de revient, la pétrochimie a dû faire face à une diversification sans cesse croissante de la demande, résoudre des problèmes de pollution, remplacer les détergents non biodégradables par des formules ne produisant plus de mousse dans nos rivières. Un des domaines qui attestent le dynamisme de l'industrie pétrolière est celui des protéines alimentaires.

DU PÉTROLE AUX PROTÉINES ALIMENTAIRES

Deux installations entièrement nouvelles, l'une à Lavéza, près de Marseille, l'autre en Écosse, dans la raffinerie de Grangemouth, utilisent des processus de type biologique : elles transforment des hydrocarbures en protéines alimentaires destinées à l'alimentation du bétail. Ces installations, très importantes (celle de Lavéza peut produire 4 000 tonnes de concentré protéique par an), sont les premières d'une série qui connaîtra une large diffusion dans le monde entier.

Chacune de ces deux unités utilise des matières premières et des procédés différents. Dans les usines de la région de Marseille, le matériau de départ est le gas-oil; celui-ci est transformé en concentré protéique avec un rendement de 10 %. Le second procédé a pour point de départ un groupe d'hydrocarbures appelés « paraffines normales » obtenus en soumettant à des traitements particuliers certaines fractions intermédiaires de la distillation du brut. La transformation, réalisée toujours par un processus biologique, est totale et très peu coûteuse; les opérations les plus onéreuses sont celles qui ont trait à la transformation des fractions intermédiaires du distillat en « paraffines normales ». Il est probable que le procédé qui utilise directement le gas-oil comme matière de base pourra être appliqué prochainement à des fractions plus lourdes du distillat, tandis que les « paraffines normales » susceptibles d'être transformées en protéines seront obtenues à des coûts moindres, même à partir de fractions plus légères.

D'autres groupes de spécialistes travaillent à la réalisation de protéines à partir du méthanol. L'impulsion à ces recherches et aux technologies nouvelles qu'elles ont engendrées a été donnée par le problème angoissant de la sous-alimentation dans le monde. La sous-alimentation dont souffre la majorité de la population mondiale est non seulement quantitative mais aussi qualitative, puisque ce sont surtout les protéines qui font défaut, c'est-à-dire les principes alimentaires destinés à l'édification des tissus et au maintien de leur intégrité, protéines que l'on trouve dans la viande, le poisson, les œufs, le fromage, le lait et dans certains produits végétaux.

La rareté de ces aliments tient à leur coût de production élevé, et pour abaisser celui-ci, il faut réduire considérablement le prix des aliments pour le bétail. On voit immédiatement tout l'intérêt qui s'attache à la production abondante et bon marché de protéines à partir du pétrole, qui serviront à enrichir et à équilibrer l'alimentation du bétail. Cette nouvelle source de demande de produits pétroliers, pour la satisfaction de laquelle on fera appel à des fractions légères et moyennes de la distillation du brut, impose à l'industrie pétrochimique un motif supplémentaire d'adaptation et confirme le bien-fondé des options qui ont conduit à la création d'installations souples, seules capables de satisfaire à une demande aussi diverse qu'imprévisible.

EMPLOIS INDUSTRIELS DES MATIÈRES PLASTIQUES

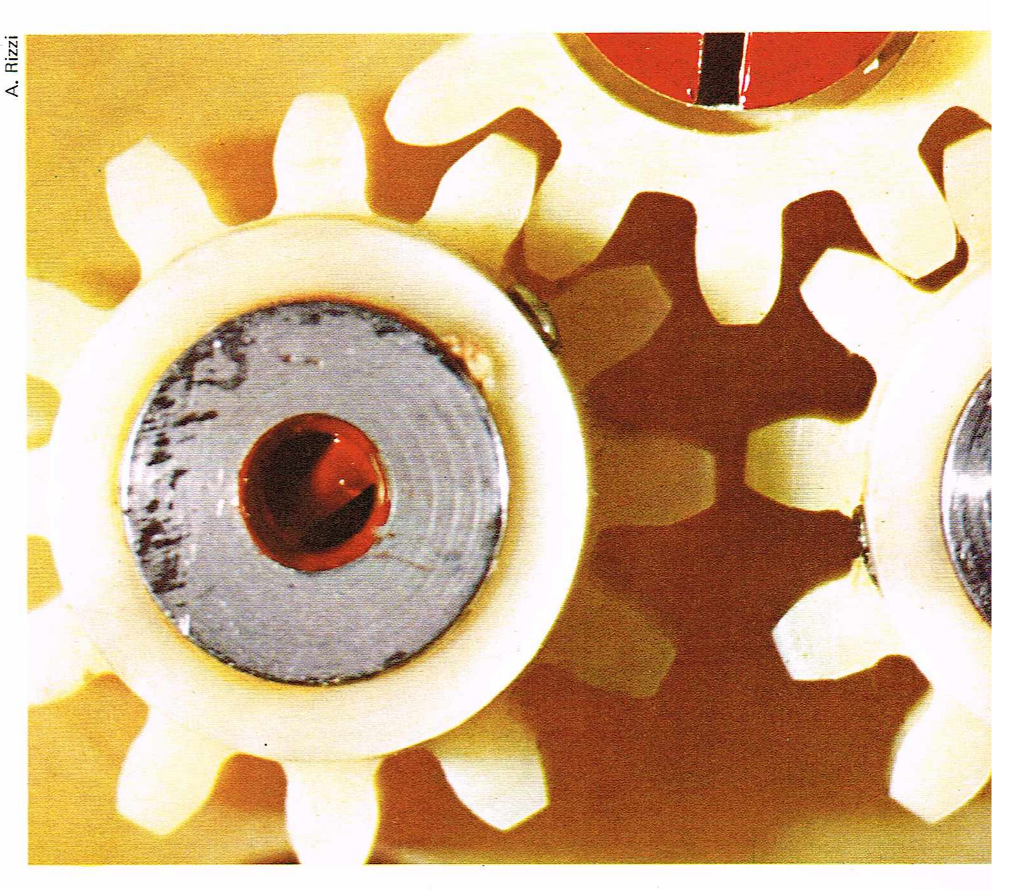
L'emploi des matières plastiques pour les usages les plus divers continue de s'étendre dans tous les pays. Il apparaît sans cesse des familles nouvelles de matériaux, la production globale augmente rapidement, et, chaque jour, on étudie des possibilités nouvelles d'utilisation présentant un intérêt certain sur les plans technique et économique. L'utilisation des matières plastiques dans l'industrie automobile a connu une progression particulièrement rapide, que l'on peut illustrer par la comparaison entre deux voitures de même marque, par exemple la Fiat 1100 et la Fiat 124 : la Fiat 1100, de 1952, comportait 1,1 kg de matières plastiques, soit 0,13 % en poids et 0,6 % en volume ; la Fiat 124, qui pèse seulement 30 kg de plus, contient 31,147 kg de matières plastiques, soit 3,78 % en poids et 15,7 % en volume.

Dans le domaine des appareils électroménagers, le phénomène présente une ampleur tout à fait comparable. Dans les réfrigérateurs modernes, l'espace compris entre la cuve de l'appareil et son habillage métallique extérieur ou entre les faces interne et externe de la porte est rempli de résine expansée sous forme de mousse solide (polystyrène ou polyuréthanne), qui joue le rôle d'isolant thermique ; la cuve elle-même est souvent en matière plastique. Dans tous les autres appareils électroménagers, il y a également utilisation accrue des matières plastiques : bien des pièces qui étaient à l'origine métalliques sont aujourd'hui en Nylon, en polypropylène, en PVC ou en résines phénoliques (urée, mélamine).

La gamme des matières plastiques continue de s'étendre grâce à la découverte de substances nouvelles. Ainsi, dans la Fiat 124, on compte dix types de matières plastiques différentes : chlorure de polyvinyle, résines phénoliques, polyuréthannes, polystyrènes, résines cellulosiques, méthacrylates, polyamides, polypropylène, polyéthylènes, polyacétales. Quelques-unes de ces résines sont d'origine relativement récente ; il en est ainsi du polypropylène, matériau utilisé pour la fabrication du ventilateur principal, du ventilateur de l'installation de chauffage, de son boîtier et de la canalisation d'air chaud ; le polyuréthanne expansé est utilisé pour le rembourrage des coussins.

Du point de vue de la production quantitative, on note d'assez grandes disparités entre les différentes matières plastiques. Ainsi, la production française a été en 1974 de 2 600 000 tonnes, dont, en milliers de tonnes : chlorure de polyvinyle, 621 ; polyéthylène (haute et basse densité), 906 ; polystyrène (standard et choc), 189 ; phénoplastes, 86 ; aminoplastes, 215 ; polyesters, 75 ; polyuréthannes 104.

Le polychlorure de vinyle (PVC) est utilisé par exemple pour confectionner un revêtement spécial appelé similicuir, qui trouve de larges applications dans l'industrie automobile pour l'habillage des sièges de voitures, dans l'industrie de l'ameublement pour recouvrir des divans et des fauteuils, en maroquinerie, etc. Les emplois de ce matériau sont d'une très grande diversité : l'industrie électrique l'utilise pour réaliser l'isolation de câbles électriques à basse et moyenne tension, l'agriculture pour l'irrigation et le drainage (les canalisations en PVC sont de plus en plus répandues), l'industrie du bâtiment pour les gouttières, les tuyaux de descente, les canalisations d'égout, les revêtements de sol ; l'industrie chimique emploie un grand nombre de récipients en polychlorure de vinyle ou comportant des revêtements de ce matériau. Dans le domaine agricole, une application récente et intéressante de ce matériau est constituée par les silos en matière plastique, formés de feuilles flexibles en PVC renforcées d'une armature métallique ; ces silos, qui permettent le stockage d'un volume considérable de grains, de paille, etc., sont démontables et n'occupent alors que très peu de place. Le polyéthylène connaît des emplois aussi nombreux et aussi variés. Il se prête parfaitement à la fabrication de récipients inaltérables aux agents chimiques (acide sulfurique, insecticides, etc.) et pouvant contenir des produits alimentaires très divers sans se combiner avec ces derniers. Les récipients en polyéthylène présents sur le marché sont en nombre incalculable, depuis le grand bidon hermétique pour les produits chimiques jusqu'aux bouteilles et flacons contenant des détergents, du savon, du talc, des produits pharmaceutiques ou d'autres produits d'emploi ménager. Des kilomètres carrés de polyéthylène en feuilles sont employés par les horticulteurs pour la fabrication de serres d'un coût très modéré et présentant en outre l'avantage d'être démontables. Le polyéthylène est également utilisé pour la réalisation de canalisations pour le transport de l'eau potable, canalisations dont la section peut atteindre 200 mm.


A. Rizzi

Engrenages en matière plastique. Les progrès réalisés dans les applications technologiques des matières plastiques ont rendu possible ce type d'utilisation.

LE POLYSTYRÈNE

Le polystyrène et ses copolymères sont utilisés pour la fabrication d'emballages destinés à l'industrie alimentaire, de récipients légers de toutes formes et de toutes dimensions, de panneaux d'isolation phonique, de stratifiés décoratifs, d'éléments d'appareils électroménagers en tout genre, d'assiettes, de bols, de tasses, de verres



C. Bevilacqua

Serres pour la protection des pépinières. Cette photo illustre l'un des aspects de l'emploi des matières plastiques dans l'agriculture.

aux couleurs très gaies, de pièces d'automobile, de boîtiers pour toutes sortes d'appareils, comme les machines à calculer, de flotteurs pour les filets de pêche, de bouées, de balises flottantes et d'une infinité d'autres objets dont l'énumération serait extrêmement longue.

Le polystyrène, par ses excellentes caractéristiques mécaniques et électriques ainsi que par son coût très modéré, trouve aussi un très large emploi dans l'industrie électrique et mécanique, et même dans l'industrie des peintures.

Les résines phénoliques, produites sous forme de poudres à mouler, permettent la fabrication d'une multitude d'objets divers dont on dit habituellement qu'ils sont en « bakélite ».

Avec des résines à base de mélamine, on fabrique des assiettes, des couverts, des stratifiés, ces derniers présentant souvent une structure à double couche, l'une formée de mélamines, l'autre de résines phénoliques. On en fait aussi des appareils électriques pour circuits à basse tension. Les résines à base d'urée connaissent des emplois à peu près analogues. Un vaste domaine d'emplois nouveaux s'ouvre au polystyrène, domaine qui s'élargit très rapidement. A la température ambiante, les résines à base de polystyrène sont fluides et présentent une viscosité assez faible ; l'addition d'un catalyseur provoque leur polymérisation à la température ambiante. Elles se prêtent ainsi à des fabrications par moulage à froid ou par application sur des coquilles spéciales. On les utilise habituellement mélangées à du quartz en poudre ou à des fibres de verre, ce qui leur confère une résistance mécanique plus grande. On s'en sert pour la fabrication des coques de petites embarcations, de couvertures légères en tout genre pour le bâtiment ainsi que d'isolants pour l'industrie électrique, et, sous forme de feuilles très minces, pour la fabrication de condensateurs électriques et d'autres composants électroniques. Les polyesters renforcés aux fibres ou à la toile de verre permettent la réalisation d'éléments de grandes dimensions, tels que containers, autoclaves et même wagons frigorifiques. On peut trouver surprenant le fait que plus de la moitié en poids de la production mondiale de Nylon 66 (il s'agit d'une résine polyamide) soit utilisée pour la fabrication d'éléments mécaniques, engrenages, frettes, supports, poulies, ventilateurs et même éléments de séparation intercalés entre les tronçons de rail et destinés à maintenir la continuité mécanique tout en réalisant une discontinuité électrique sûre. On peut charger le Nylon à la fibre de verre afin d'augmenter ses qualités mécaniques ; on peut aussi lui appliquer des traitements thermiques, qui, en provoquant un nouvel arrangement des chaînes moléculaires qui en constituent la structure, contribuent à en améliorer les caractéristiques. Le Nylon et bien d'autres polyamides sont utilisés pour les emplois les plus divers : vis spéciales pour assurer l'isolation électrique des pièces des machines textiles, cheveux de poupée, cordage de raquette de tennis, filets de pêche, brosses, et ainsi de suite.

Les résines cellulosiques, bien qu'elles aient perdu leur importance d'autrefois (le Celluloïd fut la première des matières plastiques), trouvent encore de nombreuses applications. L'acétate de cellulose constitue encore de nos jours la pellicule de support pour la surface sensible en cinématographie et en photographie. On l'utilise aussi pour recouvrir certaines pièces métalliques (poignées, volants, etc.), pour confectionner des talons de chaussures, des peignes, des boutons, des montures de lunettes, etc.

Les résines acryliques comprennent plusieurs groupes de matières plastiques, polymères et copolymères de l'acide acrylique et méthacrylique. La caractéristique essentielle de ces matériaux est leur exceptionnelle transparence et la facilité avec laquelle ils se laissent colorer en teintes vives et brillantes. Pour cette catégorie de matière plastique aussi, les emplois sont très variés : couverts, récipients, panneaux décoratifs d'intérieur ou de façade de vitrine, coquilles pour les feux de position, etc.

LE POLYPROPYLÈNE

Le polypropylène, découvert par Natta, est l'une des matières plastiques les plus récentes et dont l'avenir s'annonce le plus brillant. Le polypropylène présente des caractéristiques tout à fait remarquables : densité faible (0,9), résistance à des températures supérieures à celles des autres résines thermoplastiques, grande résistance mécanique et chimique, propriétés diélectriques parfaites. Il se prête au moulage par injection à chaud, au formage sous vide ou sous pression ; il peut aussi être extrudé et réduit à une feuille mince et transparente. On l'emploie actuellement pour la fabrication de récipients à fermeture hermétique destinés à contenir des produits alimentaires, de filets de pêche et de filets pour la cueillette des fruits, de sacs industriels, de bassins, de canalisations et de récipients pour l'industrie chimique, de socles pour machines textiles, de différentes pièces utilisées par l'industrie électronique et par d'autres industries, enfin pour réaliser une plastification très résistante des couvertures de livres et de revues.

Les résines époxydes, qui possèdent des caractéristiques mécaniques et électriques et un pouvoir d'adhésion supérieurs à ceux de toutes les autres matières plastiques, sont utilisées par l'industrie électrique pour la fabrication de gaines isolantes, de transformateurs de mesures, de fourreaux isolants noyés dans le ciment et susceptibles de supporter de fortes charges mécaniques. Ces résines peuvent être chargées au quartz, au kaolin, au talc, au carbonate de calcium, ce qui permet de réaliser des mélanges aux caractéristiques particulières. Utilisées comme peintures, elles réalisent un revêtement parfaitement adhérent, souple et mécaniquement résistant ; enfin, elles sont utilisées, surtout dans l'industrie aéronautique, pour souder de manière rapide et tout à fait sûre des éléments métalliques. Pour en réaliser la polymérisation, il faut, le plus souvent, soumettre le mélange à un cycle de chauffage.

UNE RÉSINE EXCEPTIONNELLE

Le polytétrafluoroéthylène est une résine thermoplastique qui se ramollit à 327 °C, tandis que la quasi-totalité des autres résines thermoplastiques se ramollit entre 120 et 130 °C ; en outre, il présente des caractéristiques exceptionnelles de non-adhérence et de résistance chimique. On l'utilise dans l'industrie électrique pour des pièces appelées à supporter une température supérieure à 300 °C, dans l'industrie chimique et dans l'industrie alimentaire, surtout pour l'emballage ou le transport de matériaux visqueux et fortement adhérents (mélasses, miel, sucre caramélisé et autres produits semblables). L'industrie des ustensiles de cuisine en a fait une application intéressante en tant que revêtement (Teflon) de poêles ou de casseroles qui permettent la cuisson des aliments sans emploi de matières grasses et sans que ces mêmes aliments attachent au fond du récipient.

L'ACIDE SULFURIQUE DANS L'INDUSTRIE CHIMIQUE

L'acide sulfurique est indiscutablement l'une des substances chimiques les plus importantes, en raison du nombre et de l'extrême variété d'emplois qu'il possède. On peut dire qu'il n'existe pas aujourd'hui une seule usine chimique qui n'utilise l'acide sulfurique, à tel point qu'il semble possible d'apprécier les conditions économiques d'un pays d'après sa consommation d'acide sulfurique.

Dans la nature, l'acide sulfurique n'est présent à l'état libre que dans l'eau de certains fleuves sud-américains, mais, heureusement pour la vie des animaux et des plantes, à une concentration très faible. Donc, par suite de sa rareté dans la nature et des immenses besoins mondiaux, une importante industrie s'est développée pour la production de cet acide. Elle utilise comme matière première le soufre ou ses composés, comme les blendes et les pyrites, très répandues dans les roches de la lithosphère.

La fabrication industrielle de l'acide sulfurique n'a débuté qu'au XVIe siècle, en Bohême ; il était alors connu sous le nom d'« huile de vitriol » ou d'« acide vitriolique » ; on le préparait en faisant réagir à chaud le sulfate ferreux heptahydraté (« vitriol vert ») avec la silice présente dans le sable auquel le sulfate était mélangé : au cours de cette réaction, le fer se fixait sous forme de silicate, et il y avait libération d'acide sulfurique.

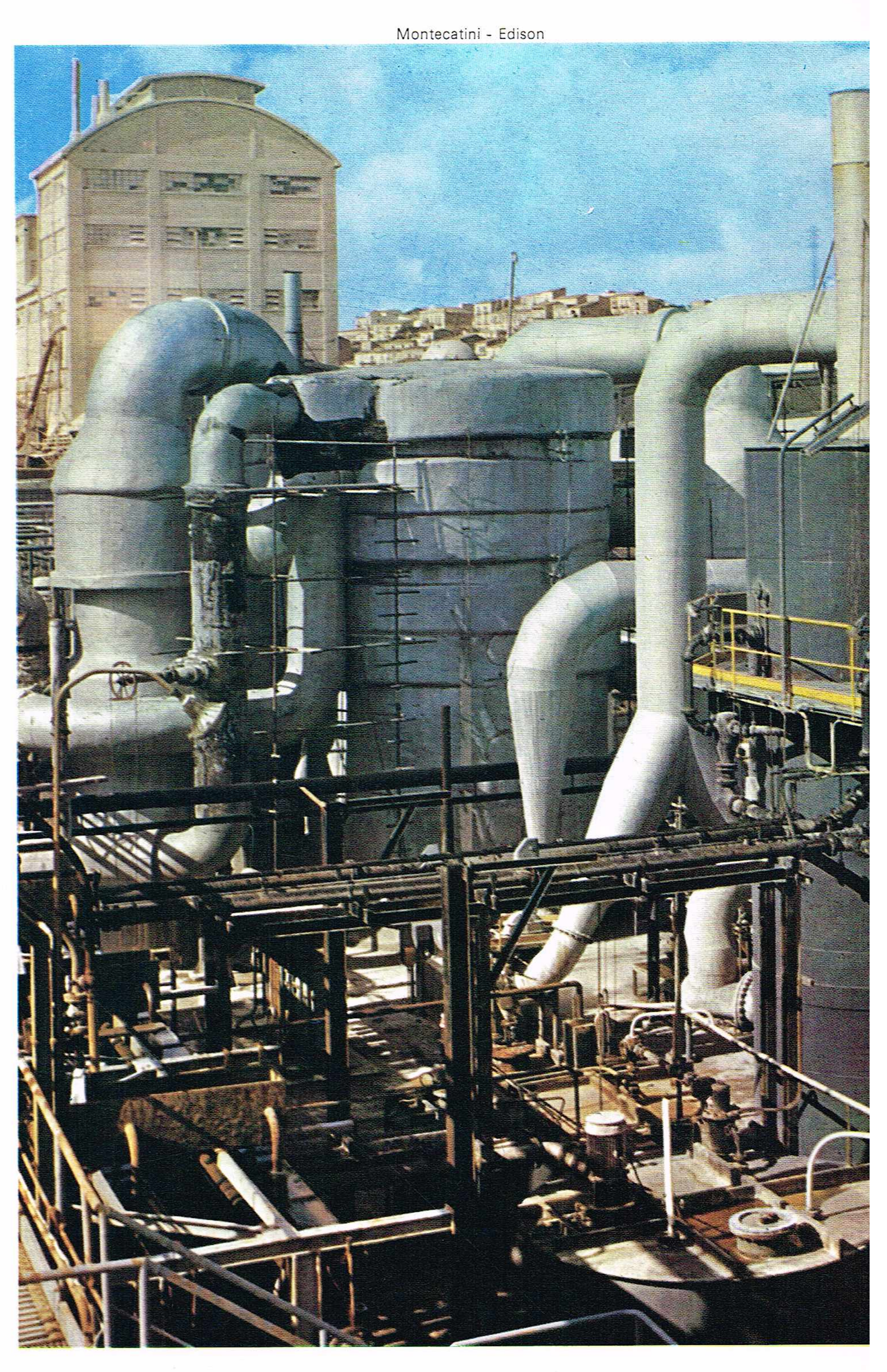
FABRICATION INDUSTRIELLE

C'est au XVIIIe siècle, et plus précisément vers 1740, que sont réalisées les premières installations capables de produire de l'acide sulfurique à des conditions économiques avantageuses. En Angleterre, par exemple, on préparait l'acide sulfurique en faisant brûler, en présence d'eau, un mélange de nitrate de potassium (salpêtre) et de soufre dans des récipients de verre. Ce procédé fut amélioré grâce à l'emploi de l'air comme oxydant à la place du salpêtre, puis grâce au remplacement des récipients en verre, très fragiles, par des « chambres de plomb », de dimensions beaucoup plus importantes. Cela a donné son nom au procédé qui fut employé jusqu'à nos jours. Dans le procédé qui utilise les chambres de plomb, on recourt aux oxydes d'azote pour transformer l'anhydride sulfureux en anhydride sulfurique ; ce dernier est mis au contact de l'eau pour donner l'acide correspondant. Dans les meilleures conditions, on utilise 500 kg de pyrites et 4 kg d'acide nitrique pour produire une tonne d'acide sulfurique à 64 %. Actuellement, l'industrie utilise le procédé par contact, dont l'origine remonte à 1831 : l'oxydation de l'anhydride sulfureux en anhydride sulfurique est réalisée grâce à l'emploi d'un catalyseur constitué par du platine finement divisé, supporté par des masses incandescentes de porcelaine. En 1875, des brevets sont déposés simultanément en Allemagne et en Grande-Bretagne, prévoyant l'emploi du pentoxyde de vanadium au lieu du platine comme catalyseur.

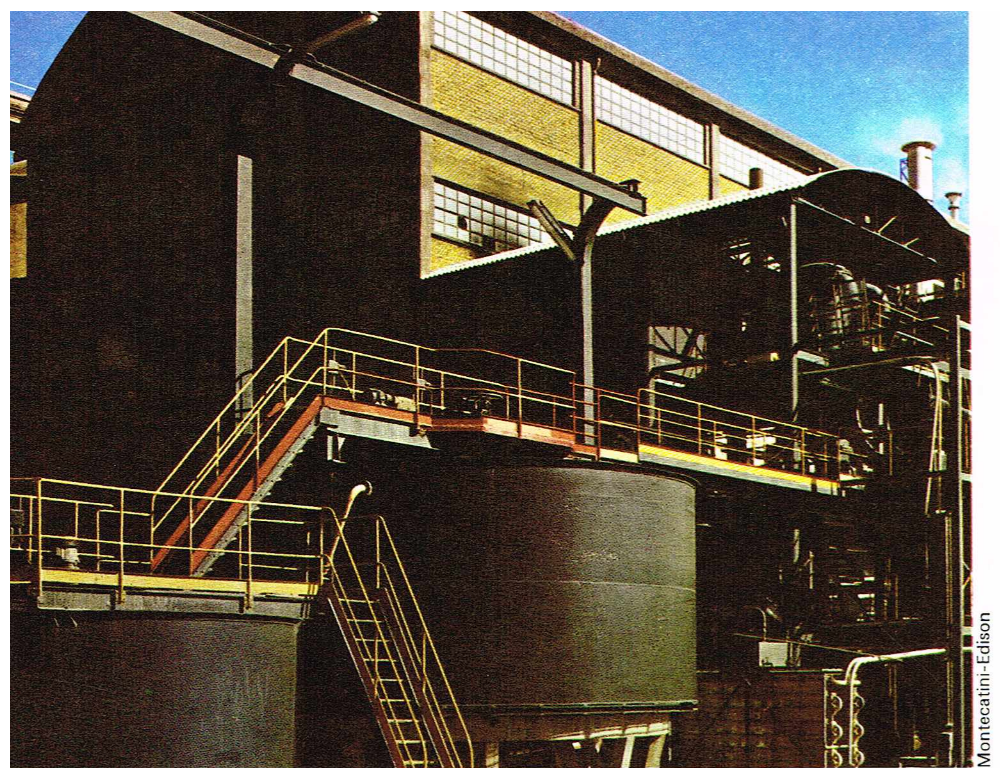
USAGES INDUSTRIELS

Les usages de l'acide sulfurique dans l'industrie sont en rapport avec les propriétés physiques et chimiques de ce corps. L'acide sulfurique se comporte comme un acide fort, un déshydratant et un oxydant. Ses propriétés corrosives sont bien connues : ni les tissus organiques, ni les fibres naturelles ne résistent à l'acide sulfurique, qui les détruit rapidement. Sa toxicité est élevée : l'inhalation de vapeurs concentrées peut entraîner la perte de connaissance et de sérieuses lésions au niveau des voies

Montecatini - Edison



Tours de séchage et d'absorption dans une usine de production d'oléum, mélange d'acide sulfurique et disulfurique, employé pour la fabrication de colorants et d'explosifs.


Montecatini-Edison

Installation pour la concentration de l'acide sulfurique.

respiratoires. Des projections d'acide sulfurique sur les yeux peuvent provoquer la perte de la vue; l'ingestion d'acide sulfurique est généralement mortelle.

L'acide sulfurique, H_2SO_4, est un acide peu volatil (en effet, il bout au-dessus de 300 °C), doué d'une grande réactivité chimique. De ce fait, il est employé par l'industrie de la chimie minérale pour préparer les acides plus volatils à partir des sels correspondants. Ainsi, c'est à partir de l'acide sulfurique qu'on prépare les acides nitrique, chlorhydrique, fluorhydrique et phosphorique. Mais le plus gros débouché de l'acide sulfurique (plus de 50 %) est l'industrie des engrais, tels que le sulfate d'ammonium et les superphosphates, que l'on obtient par action directe sur le minerai d'apatite.

Dans l'industrie des métaux, l'acide sulfurique est utilisé pour le décapage (pickling) *de pièces, qui sont ainsi débarrassées de leur couche superficielle de rouille ou d'oxydes, immédiatement avant d'être soumises à des opérations de zingage, d'étamage ou simplement de peinture.*

Plus de 10 % de l'acide fabriqué est employé comme électrolyte dans les batteries d'accumulateurs. L'industrie de la chimie organique s'en sert pour la production de l'alcool éthylique, de l'alcool isopropylique, du phénol et de bien d'autres composés, dont les détergents. On l'utilise en outre comme catalyseur dans l'hydrolyse de l'amidon en glucose; l'industrie pétrochimique s'en sert dans les réactions de polymérisation et d'alcoylation qui permettent d'augmenter l'indice d'octane des essences.

L'acide sulfurique est un déshydratant très efficace : son affinité pour l'eau est démontrée par le fort dégagement de chaleur qui se produit lors du mélange de ces deux substances. Dans certaines conditions, on assiste même à un début d'ébullition de la solution. En conséquence, il faut procéder avec d'extrêmes précautions, en versant l'acide dans l'eau sous agitation, et jamais l'inverse, afin d'éviter des projections dangereuses.

En tant que déshydratant, l'acide sulfurique est utilisé pour le séchage de n'importe quel type de gaz, à condition que celui-ci ne réagisse pas avec l'acide. Le gaz et l'acide sont mis en contact dans des tours remplies de matériaux réfractaires, afin de rendre l'opération aussi efficace que possible.

L'industrie de la chimie organique l'emploie comme déshydratant pour la préparation de l'éther diéthylique, appelé pour cette raison éther sulfurique, et la production de nombreux esters, dont la nitroglycérine.

L'acide sulfurique se comporte comme un oxydant à l'égard de l'acide fluorhydrique et de l'acide bromhydrique, avec production de brome et de fluor. L'acide sulfurique est également employé pour fixer un groupement sulfoné à de nombreuses molécules organiques. Les produits qui en résultent sont des intermédiaires pour la synthèse d'autres composés, ou bien sont employés à des usages particuliers. Comme exemples de la première utilisation, citons les acides anthraquinone-sulfoniques et alizarine-sulfoniques, utilisés comme intermédiaires par l'industrie des colorants; dans la deuxième catégorie, on citera les sulfates d'alkyle, issus de la réaction entre l'acide sulfurique et un alcool aliphatique à longue chaîne, et les acides alkylbenzène-sulfoniques. Les substances appartenant à ces deux catégories possèdent des propriétés détersives remarquables et, à ce titre, trouvent un large emploi dans l'industrie des détergents, notamment pour les usages ménagers.

L'acide sulfurique est, en outre, utilisé par l'industrie des matières plastiques, des fibres synthétiques, du papier, et par beaucoup d'autres.

L'acide sulfurique est largement employé par l'industrie des engrais artificiels. Par exemple, avec l'acide phosphorique, il sert à la fabrication des superphosphates. Ci-dessous : une installation de production de superphosphates par voie thermique.


Montecatini-Edison

USAGES DES RADIO-ISOTOPES

En raison de leurs caractéristiques, et notamment de leur durée de vie moyenne, les radio-isotopes artificiels trouvent de nombreuses applications dans l'industrie, dans l'agriculture, dans l'étude des eaux souterraines et l'identification de leur parcours, en botanique et en médecine. En fait, leurs possibilités ne dépendent que de l'imagination et du génie inventif de l'homme.

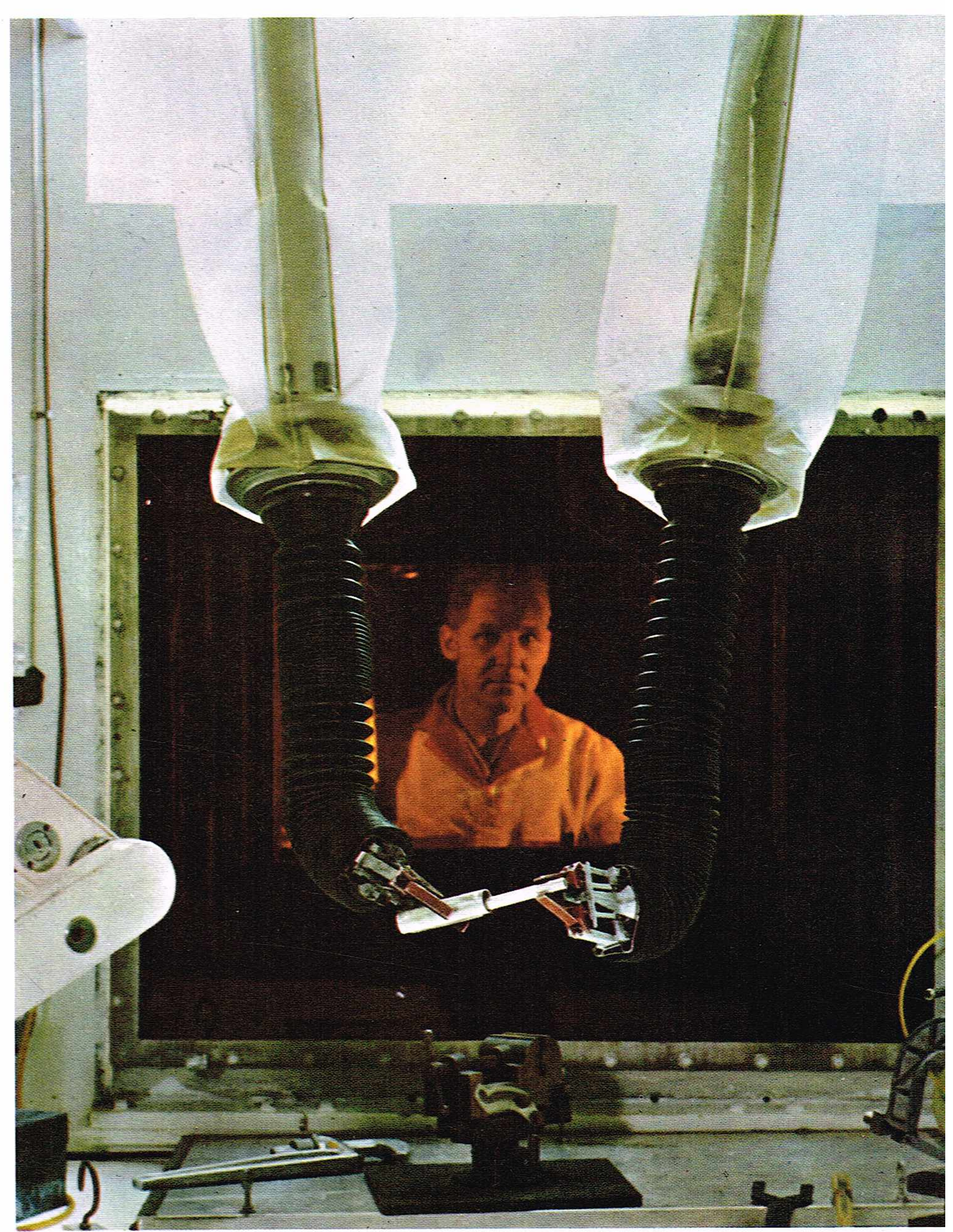
Le domaine spatial utilise largement les radio-isotopes comme sources d'énergie : des générateurs d'énergie électrique du type SNAP (Systems for Nuclear Auxiliary Power) ont équipé et équipent encore un grand nombre d'engins spatiaux, habités ou non, fournissant l'énergie nécessaire au fonctionnement des nombreux appareils destinés à enregistrer des données scientifiques de manière continue. Le matériau actif de ces générateurs, plutonium 238, curium 244, ou prométhéum 147, fournit, à cause de sa désintégration naturelle, la chaleur dont une partie est transformée en énergie électrique par des séries de couples thermoélectriques. Les puissances électriques développées vont de quelques dizaines à quelques centaines de watts tout au plus, mais, capables de fonctionner sans entretien pendant plus d'un an, ces générateurs peuvent servir à l'alimentation en électricité d'installations qui ne sont pas constamment surveillées : bouées, phares automatiques.

Un emploi particulièrement intéressant du plutonium 238, conçu d'après le même principe, est celui des stimulateurs d'organes et notamment des stimulateurs cardiaques. Des générateurs à base de plutonium remplaceront progressivement les batteries chimiques actuellement utilisées.

APPLICATIONS INDUSTRIELLES

Dans l'industrie, les applications des radio-isotopes sont nombreuses et très diverses. La gammagraphie *est une technique qui consiste à effectuer la radiographie d'une pièce métallique, même de forte épaisseur, en utilisant des rayons gamma, beaucoup plus pénétrants que les rayons X. Lorsqu'il s'agit de pièces massives, on utilise un dispositif semblable à la bombe au cobalt employée en médecine. On dispose la pièce à examiner entre la bombe et une plaque radiographique ordinaire ; on réalise ainsi une radiographie aux rayons gamma qui permet de déceler d'éventuels défauts internes de la pièce (cavités, criques, irrégularités dans la cristallisation). Si la pièce est creuse, la méthode à appliquer est plus délicate : on place la source radio-active à l'intérieur de la pièce, et on place autour d'elle trois, quatre plaques et même plus. On obtient ainsi des gammagraphies des différentes portions des parois. Dans de nombreuses installations industrielles, il est souvent indispensable de s'assurer de la parfaite étanchéité de certains compartiments ou tubulures, notamment de déceler immédiatement d'éventuelles fuites de liquide au niveau des assemblages à joints. L'utilisation de très petites doses de* radio-éléments *dans les sections intéressées, jointe à la mise en place d'un certain nombre de compteurs Geiger dans les zones névralgiques, c'est-à-dire là où les fuites risquent de se produire, permet de résoudre parfaitement ce problème. Toute fuite, si minime soit-elle, est immédiatement signalée par le compteur Geiger, alors qu'il serait impossible de la déceler par n'importe quelle autre méthode. Une méthode semblable est employée pour détecter des fuites dans les canalisations d'eau et les oléoducs enterrés.*

Dans les laboratoires expérimentaux de l'industrie automobile, on effectue couramment des tests d'usure destinés à contrôler le comportement de certains éléments métalliques et l'efficacité des différentes huiles de graissage. Ces tests peuvent faire appel aux radio-éléments ; une application typique en est le contrôle des segments élastiques, réalisés avec un alliage contenant de très faibles quantités de fer 59. Précisons que l'isotope radio-actif d'un élément donné se comporte, du point de vue chimique, de manière tout à fait identique à celle des isotopes naturels de ce même élément. Dans le cas



Archives Radaelli

Intérieur d'une « cellule chaude » ; l'opérateur peut travailler à l'abri d'un lourd écran de protection en actionnant des manipulateurs mécaniques.

des segments élastiques, on réalise des segments radio-actifs exactement équivalents, à tous points de vue, aux segments normaux. En faisant fonctionner un moteur pendant un certain temps, on constate que les segments, sous l'effet de l'abrasion, perdent de très fines particules, que l'on retrouve dans l'huile de graissage. La mesure de la radio-activité de l'huile permet d'apprécier l'usure plus ou moins rapide des segments. Un système semblable peut être appliqué à la mesure très précise de l'usure d'innombrables organes mécaniques tels que roulements à billes, engrenages, dispositifs d'encliquetage et toutes sortes de pièces en mouvement.

L'industrie utilise les radio-isotopes artificiels pour la réalisation de différents dispositifs de mesure, appelés jauges. *Par exemple, si l'on veut mesurer par un système non destructif l'épaisseur d'un matériau mince produit selon un processus continu (papier, feuilles ou ruban de matière plastique, feuilles métalliques), on dispose, à la sortie de la machine, une source radio-active et un compteur Geiger de telle manière que le faisceau de rayonnement émis par la source traverse le matériau débité par la machine et aille frapper le compteur. Étant donné que l'absorption du rayonnement est proportionnelle à l'épaisseur du matériau traversé, le compteur donnera, de manière continue, une indication inversement proportionnelle à l'épaisseur de la feuille ou du ruban. Il sera même possible, au moyen d'un système dit de* feed-back, *de relier le compteur avec un dispositif de réglage de l'épaisseur du film, de manière à obtenir une correction automatique des défauts d'épaisseur.*

Les radio-isotopes ont également pour effet d'ioniser l'air qui les entoure et de le rendre ainsi meilleur conducteur de l'électricité. Cela permet de construire des anémomètres qui rendent des services précieux chaque fois qu'il y a lieu de mesurer des déplacements lents d'air ou de gaz (dans les zones profondes des mines, dans les différentes parties d'un navire, dans de nombreuses installations industrielles). L'anémomètre consiste en une cage métallique formée d'un grillage à larges mailles; cette cage a la grosseur d'une orange et porte en son centre une petite source radio-active. A côté de celle-ci est placée une électrode sphérique de faible diamètre (une tête d'épingle) reliée à une pile, la deuxième électrode de celle-ci étant connectée à la cage. On a ainsi un circuit électrique qui se ferme lorsque l'air contenu dans la cage est rendu conducteur par la source radio-active. Un galvanomètre branché sur le circuit mesure l'intensité du courant qui le parcourt. Si l'air ambiant est immobile, ce courant atteint une intensité maximale; si l'air se déplace, il entraîne depuis l'intérieur de la sphère une quantité plus ou moins importante d'air ionisé, donc conducteur, tandis que la source radio-active met un certain temps pour ioniser l'air qui a remplacé le premier. L'intensité du courant qui parcourt le circuit permet de mesurer des courants gazeux de très faible vitesse (quelques dizaines de centimètres par seconde ou même moins).

RADIO-ISOTOPES TRACEURS

Les radio-isotopes sont utilisés comme « traceurs » pour effectuer toute une série de mesures en botanique et en agronomie. On peut, par exemple, contrôler l'action d'un anticryptogamique ou d'un insecticide préalablement marqué avec des éléments radio-actifs, dont il sera possible de suivre la migration au moyen d'un compteur Geiger ou de radiographies. Cela permet de vérifier, en particulier, si le produit demeure sur les feuilles ou s'il est lessivé ou encore s'il est absorbé par celles-ci. De même, si l'on applique des engrais marqués à différents stades de la croissance d'un plant de riz ou de blé (jeune plant, floraison, etc.), les radiographies peuvent aider à déterminer le moment où il convient d'employer les engrais pour obtenir le rendement maximal.

En médecine, on se sert des traceurs pour l'exploration fonctionnelle et le repérage topographique : ainsi, lorsqu'on administre à un malade de l'iode radio-actif dilué dans de l'eau et que l'on place un « détecteur » contre sa gorge, les électrons émis par l'iode radio-actif sont enregistrés sur le papier photographique du détecteur, ce qui permet de se faire une idée du fonctionnement de la glande thyroïde.



Archives Radaelli

La variété des chrysanthèmes appelés « Masterpièces », de couleur rose, peut donner naissance, par mutation spontanée, à la variété reproduite ci-dessus et appelée « Bronze Masterpièces ».
Cette dernière peut être obtenue avec une fréquence très nettement supérieure si l'on soumet la variété « Masterpièces » à un traitement radio-actif. Si on irradie aussi la variété « Bronze Masterpièces », il est possible de voir réapparaître la variété rose originelle.

Une application récente est la radurisation *qui consiste à exposer pendant un court laps de temps des matériaux à l'action d'une source radio-active très énergique, en leur faisant ainsi absorber des doses très élevées de rayonnement. Une dose de 10 000 à 500 000 rads permet, par exemple, de conserver la viande destinée à l'alimentation pendant une période très longue, à une température de — 2 ou — 3 °C : les rayons gamma n'altèrent pas la viande, mais inhibent le développement d'insectes, de larves et de différents micro-organismes. Un traitement analogue est utilisé pour les œufs cassés, destinés à la confection de gâteaux ou de pâtes. Les oignons, les pommes de terre, traités avec des doses beaucoup plus faibles de rayonnement gamma, peuvent être conservés longtemps sans qu'ils germent.*

Il est également possible, toujours au moyen d'une source radio-active très énergique, d'obtenir certaines modifications dans la structure de différentes matières plastiques, en particulier le polythène : c'est ainsi qu'on provoque le phénomène de la réticulation par rayonnement, qui élève considérablement le point de fusion et renforce les caractéristiques mécaniques de ces matériaux. Dans le domaine de l'industrie chimique, on obtient des résultats tout à fait remarquables en soumettant au rayonnement des associations bois-résines, des fibres textiles artificielles et naturelles et divers autres matériaux en vue de provoquer des réactions de types très divers (synthèse, polymérisation, réticulation, sulfoxydation).

Un des domaines les plus intéressants auxquels s'étend l'utilisation des radio-isotopes est la protection de l'environnement, notamment la lutte contre la pollution. Non seulement on peut utiliser les rayonnements pour l'analyse de l'air et de l'eau afin de découvrir des traces de substances toxiques ou nuisibles difficiles à détecter d'une autre façon; mais les traceurs peuvent aussi donner des indications précises sur l'accumulation ou la concentration de certaines substances telles que les pesticides dans les organismes végétaux et animaux, et éventuellement dans les organes du corps humain.

Il est indéniable que les radio-isotopes sont des éléments dangereux, mais la technologie a mis au point des dispositifs pour la manipulation, le stockage et le transport sans risque de ces substances. Leur utilisation s'est révélée un instrument très important au service de l'humanité. Il ne faut pas perdre de vue ces avantages si l'on veut faire le bilan du bien et du mal dont est responsable l'atome.

LES MATIÈRES PLASTIQUES DANS L'INDUSTRIE ALIMENTAIRE

La découverte des matières plastiques a provoqué sinon une véritable révolution, du moins des changements technologiques très profonds dans de nombreux secteurs de l'industrie alimentaire. Ces changements ont été progressifs et cela a sans doute contribué à les faire accepter par les consommateurs, qui auraient repoussé une modification trop brutale de leurs habitudes.

Voici encore dix ou quinze ans, les produits alimentaires étaient présentés soit en vrac, soit dans des boîtes métalliques ou des récipients en verre. On utilisait aussi des récipients en carton paraffiné, comme les petits pots à miel ou à confiture. Dans les charcuteries, le commerçant enveloppait les achats de la clientèle dans du papier huilé, ayant subi un traitement particulier le rendant partiellement imperméable; le charcutier lui-même recevait ses produits dans des récipients métalliques, dans des vases en terre cuite ou dans des baquets.

LA RÉVOLUTION DES EMBALLAGES ALIMENTAIRES

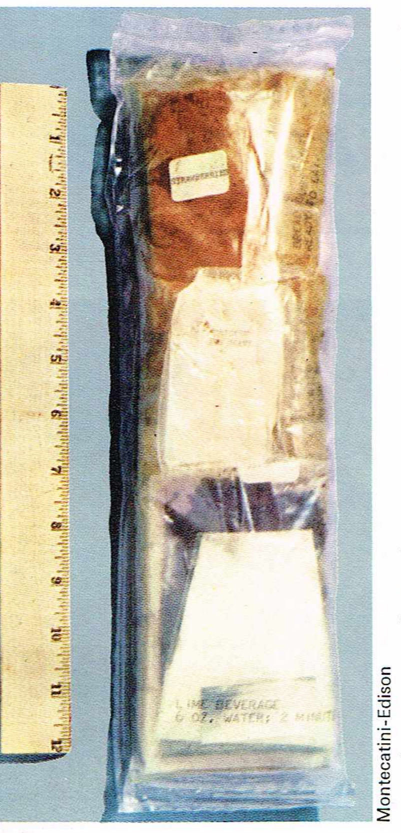
Aujourd'hui, l'énorme diffusion des emballages fermés a modifié profondément les habitudes du commerce alimentaire. La plupart des produits autrefois présentés en vrac arrivent chez le revendeur dans des emballages hermétiques, presque tous en matière plastique. Biscottes, pain en tranches, pâtes, etc., sont contenus dans des sachets transparents portant les indications de la marque, la composition du produit, etc. Les matériaux que l'on emploie pour la confection de ces sachets sont constitués le plus souvent par de minces feuilles en résine cellulosique (Cellophane), en polystyrène ou en polypropylène. Le polystyrène se prête à la fabrication d'emballages rigides transparents et de plus doués d'une certaine résistance mécanique. Presque tous les produits alimentaires sont susceptibles d'être présentés sous emballage plastique : salade russe, pâté de foie, gâteaux, produits de confiserie, plats cuisinés à consommer froids ou chauds, etc.; la plupart des préparations culinaires conservent dans leur emballage la forme qui leur a été donnée au moment de leur élaboration. Les avantages que de tels emballages offrent pour le public sont évidents; ainsi, dans le cas de poulets crus ou cuits, de tranches de viande ou de poisson présentées sous emballage transparent en papier cellulosique ou en polystyrène, les consommateurs peuvent voir la marchandise qu'ils achètent, la choisir et même, dans une certaine mesure, la manipuler, dans le respect absolu des règles d'hygiène.

Une autre matière plastique qui a pris une grande importance est le polyéthylène, avec lequel on réalise des emballages incomplètement transparents et relativement déformables. Ce matériau se prête à la confection d'emballages destinés à contenir les produits les plus divers : lait, produits surgelés, sardines à l'huile, légumes en vinaigrette, tranches de jambon, de saucisson, saucisses, etc. Pratiquement il n'existe aucune limite à l'utilisation du polyéthylène dans la confection d'emballages alimentaires, emballages dont les mérites sont un prix de revient très bas et une étanchéité parfaite. Certains types de polyéthylène servent à confectionner des feuilles qui, soumises pendant quelques instants à un chauffage modéré, subissent un rétrécissement important, qui leur fait épouser la forme des produits qu'elles enveloppent. Des emballages de ce type sont utilisés,



Les matières plastiques ont résolu le problème du conditionnement des aliments pour les astronautes.

P. R. I.



Montecatini-Edison

par exemple, pour la présentation de tranches de viande, de morceaux de fromage, de poissons congelés mis sous enveloppe avant la congélation, d'agrumes en chapelets de quatre ou six pièces, et pour toutes sortes de produits.

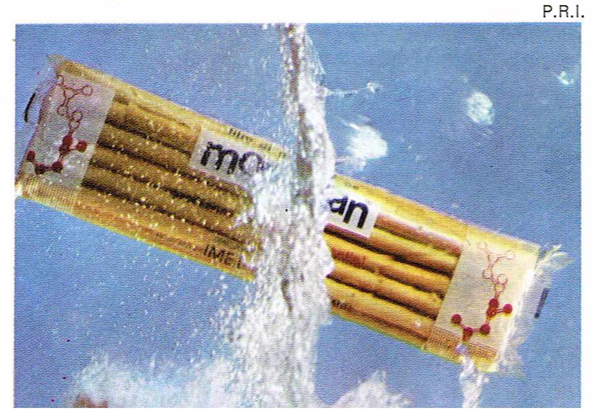
A tous ces avantages, il faut ajouter ceux du transport, du stockage, et de toutes les manipulations qu'ont à supporter les produits tout le long de la chaîne de distribution. En outre, l'emballage hermétique permet une conservation plus facile et plus longue dans les réfrigérateurs et même dans les placards à provisions. Cela permet à la ménagère d'augmenter la quantité et la variété de ses achats et de disposer ainsi d'une large gamme de produits pour réaliser un menu familial plus diversifié, sans avoir à consacrer trop de temps à cette tâche. Il s'agit là d'une innovation considérable par ses conséquences, car on assiste à une véritable modification des habitudes de vie tant à l'intérieur qu'à l'extérieur de la maison. Les bouteilles de lait ainsi que les pots de yaourt en verre ont presque complètement disparu, ce qui a supprimé la corvée des retours des emballages vides. Le lait est maintenant livré le plus souvent en bouteilles plastiques ou en berlingots de carton recouverts de polyéthylène et les yaourts en petits pots en polystyrène. La matière plastique utilisée dans l'industrie alimentaire a rendu possible le self-service dans les supermarchés et la distribution d'aliments et de boissons par des appareils automatiques, opérations qu'on aurait difficilement imaginées auparavant, en raison notamment des risques de contamination des denrées. Les machines automatiques qui distribuent des boissons chaudes ou froides fournissent le récipient correspondant, dont le coût ne doit pas dépasser quelques centimes, ce qui est possible grâce aux produits en polystyrène. La même remarque vaut pour les distributeurs de sandwichs, de gâteaux, etc., qui n'ont pu s'implanter que grâce aux emballages automatiques protégeant les aliments des risques de contamination et assurant une plus longue conservation. Des machines de ce type sont devenues un élément familier de l'équipement des bureaux, des usines, des gares et de presque tous les lieux publics.

Cette évolution présente donc des avantages indiscutables pour les consommateurs, mais les modifications qu'elle a entraînées sont encore plus importantes pour les industriels.

Dans un établissement de ramassage et de distribution de lait d'il y a dix ou quinze ans, une place très importante était occupée par les installations de lavage et de stérilisation de bouteilles, par les autoclaves et les appareils annexes, par les bassins de rinçage, par les générateurs de vapeur, les appareils de séchage, etc. Après avoir été soumises à toutes ces opérations préalables, les bouteilles devaient être acheminées, dans une atmosphère stérile, vers les installations de remplissage et de capsulage automatiques, prévues pour des récipients strictement standardisés au point de vue forme, dimensions, poids, et qui, de plus, devaient présenter une certaine résistance mécanique, qui en faisait par conséquent des objets assez fragiles. Aujourd'hui, de telles installations sont remplacées par des machines tout à fait différentes, qui produisent un tube continu en polyéthylène ou en carton recouvert de polyéthylène; des dispositifs spéciaux coupent le tube en éléments à la dimension voulue; ceux-ci sont remplis puis scellés à chaud et enfin acheminés vers les locaux de stockage, pour passer ensuite dans le cycle de distribution. Au niveau de la distribution, les transformations sont également très importantes, en raison de la relative déformabilité des emballages, de leur plus faible résistance mécanique, donc de leur moindre fragilité.

Les emballages en matière plastique protègent très efficacement les aliments contre l'humidité. Sachets contenant des aliments pour astronautes, conservés sous vide.

P.R.I.



LE TUBE CONTINU

L'élément le plus important de cette installation est la machine qui produit le tube continu : le matériau plastique sort d'une bouche circulaire d'un diamètre approprié, à l'intérieur de laquelle est entretenu un courant d'air qui permet de maintenir « gonflé » jusqu'à refroidissement le tube, qui pourra alors être enroulé sur une bobine par longueurs de plusieurs centaines de mètres. Ces bobines passent ensuite dans des rotatives spéciales qui impriment, régulièrement espacées, les diverses inscriptions destinées à désigner la marchandise. Après quoi, les bobines sont placées sur une machine qui assure de manière entièrement automatique les opérations suivantes : remplissage, séparation des éléments remplis, scellage à chaud, acheminement vers les ateliers d'emballage et d'expédition. Ainsi, les usines équipées pour le conditionnement des aliments dans des bouteilles ou des pots de verre à fermeture hermétique ont été obligées de renouveler entièrement leurs équipements. Avant l'arrivée des matières plastiques dans le domaine alimentaire, il n'était pas pensable de pouvoir commercialiser des conditionnements ne contenant que très peu de marchandises, par exemple quelques tranches de charcuterie pour un poids total d'une centaine de grammes. Pour réaliser cela à un coût acceptable, il faut disposer d'une installation entièrement automatique, où la charcuterie est coupée en tranches et mise sous emballage pratiquement sans utilisation de main-d'œuvre; en outre, le remplissage des emballages (obtenu à partir du tube continu) doit se faire sous vide, pour que le conditionnement occupe le plus faible volume possible, et que le produit ait la plus longue durée de conservation. Ainsi, la technique du vide est largement utilisée par la nouvelle industrie alimentaire.

Le processus de fabrication d'emballages en polystyrène, minces mais suffisamment rigides pour conserver leur forme, se déroule ainsi : une feuille de matériau, chauffée, est engagée entre les rouleaux d'une machine spéciale, portant l'un en relief et l'autre en creux l'empreinte que l'on désire donner à la feuille; celle-ci, à la sortie des rouleaux, est découpée automatiquement en éléments possédant la forme voulue; après remplissage, ces éléments sont dotés d'un fond et d'un couvercle et scellés à chaud. L'ensemble des opérations se déroule de manière continue.

Cette transformation profonde des anciennes méthodes ménagères ou artisanales permet de réaliser un abaissement considérable des coûts de production et assure une conservation parfaite des aliments, surtout à l'intérieur de bacs réfrigérants, dans lesquels ils peuvent séjourner pendant plusieurs semaines sans subir la moindre altération.

Les aliments surgelés sont contenus dans des enveloppes totalement ou partiellement en plastique; par exemple, les légumes et les mollusques sont enfermés dans des sachets en polyéthylène à fermeture hermétique; les poissons et les poulets également dans des sachets en polyéthylène mais que l'on fait adhérer aux produits par rétrécissement à chaud; les produits présentés en boîtes de carton sont enfermés dans un sachet de polyéthylène, ou bien la boîte elle-même est entièrement recouverte de ce matériau.

Pour les boîtes à fermeture plus où moins hermétique, couramment employées pour conserver les aliments au réfrigérateur, on utilise surtout le polyéthylène, le polystyrène et le polypropylène. En ce qui concerne le conditionnement des boissons, vin, eau minérale, les bouteilles en verre ont dû céder une partie de leur marché aux bouteilles en matière plastique — essentiellement en polychlorure de vinyle — dont la consommation en France dépasse 100 000 tonnes par an pour les bouteilles d'eau minérale. Cependant, il ne semble pas que dans ce domaine la matière plastique soit destinée à se substituer totalement au verre, c'est ainsi que le conditionnement du vin en bouteilles de P.V.C. ne constitue qu'une faible partie, le reste étant encore réservé au verre.

FIBRES TEXTILES ARTIFICIELLES ET SYNTHÉTIQUES

Les expressions « fibres textiles artificielles » et « fibres synthétiques » sont aujourd'hui aussi répandues que l'est l'usage de ces nouveaux matériaux qui permettent de fabriquer les tissus les plus divers : velours, tissus d'ameublement, étoffes pour l'habillement, fils textiles pour bonneterie, etc. Souvent, on obtient d'excellents résultats en utilisant des tissus mixtes, dans la composition desquels entrent des fibres naturelles (coton, lin, laine) et des fibres artificielles de nature diverse. Ces dernières sont désignées essentiellement par leur nom commercial, aussi, l'utilisateur qui entend parler de Nylon, de Tergal, de Rilsan, de Crylor, etc., ne peut pas toujours reconnaître la « famille » chimique à laquelle appartiennent les différentes fibres.

Une première classification permet de distinguer les fibres artificielles des fibres synthétiques proprement dites. Les fibres artificielles sont obtenues à partir des molécules complexes de certains polymères naturels : en revanche, on considère comme fibres synthétiques celles qui sont véritablement des produits de synthèse, issues de la polymérisation d'un monomère. Un monomère est une molécule relativement simple, qui, dans des conditions données, se « polymérise », les monomères se soudant bout à bout de manière à constituer une longue chaîne de molécules identiques, appelée « polymère ». Un exemple typique de ce processus est fourni par les fibres de polypropylène, que l'on obtient par polymérisation du propylène, dont la formule est assez simple (formule brute C_3H_6 et formule développée $CH_2 = CH—CH_3$). Les fibres de polypropylène sont commercialisées en Angleterre sous les noms d'Ulstron et Propylex et en Italie sous le nom de Meraklon.

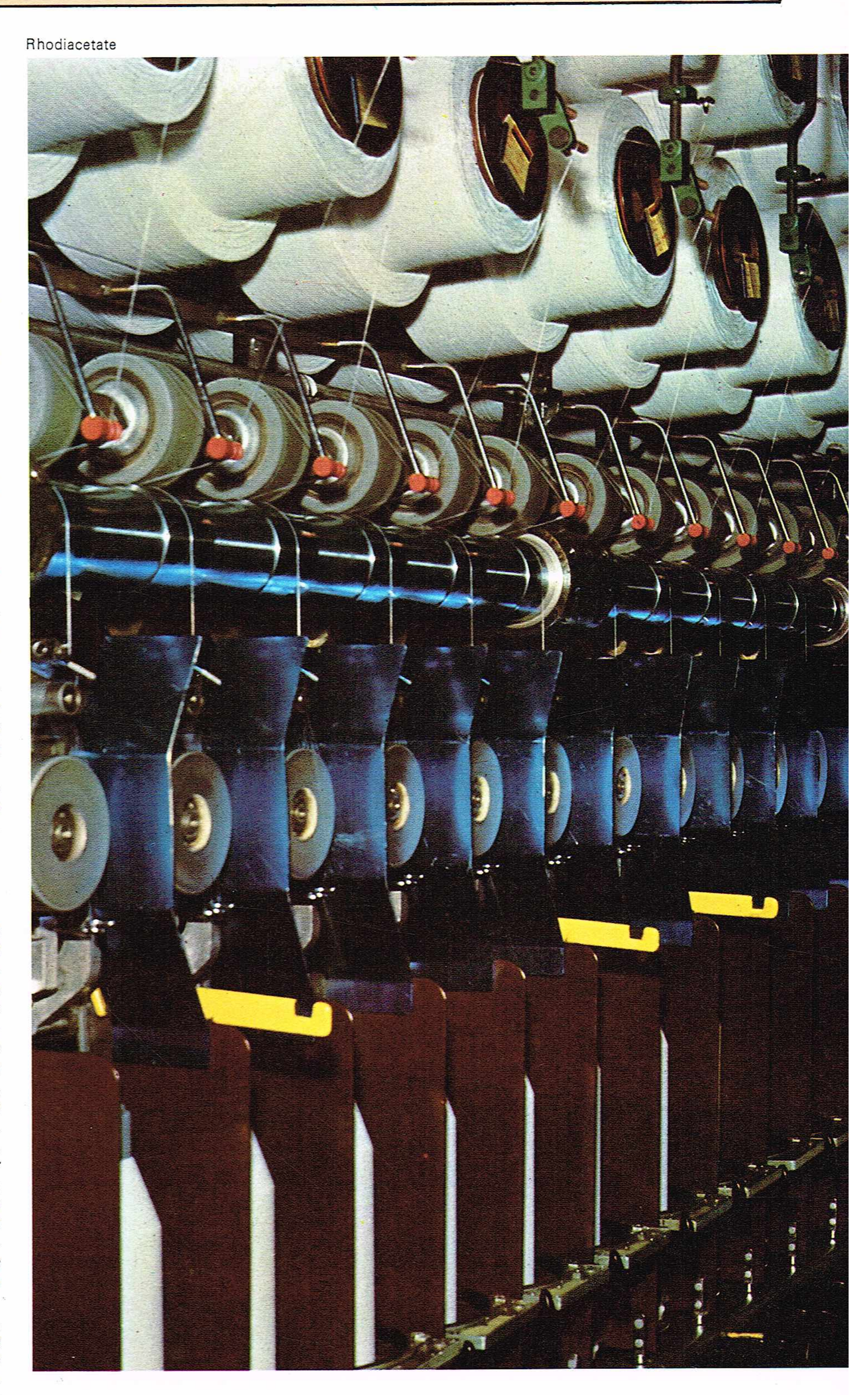
Du point de vue chimique, les fibres synthétiques peuvent être classées en fibres de polymérisation et fibres de polycondensation. La polymérisation conduit à la réalisation d'un polymère, par la soudure bout à bout de plusieurs monomères ; dans la polycondensation, les molécules de monomères se soudent également entre elles, mais le processus se caractérise par la libération de molécules simples de différente nature (le plus souvent, l'eau).

LES FIBRES ARTIFICIELLES

Les fibres artificielles ont fait leur apparition presque un demi-siècle avant les fibres synthétiques. En 1891, en France, après une longue période de recherches scientifiques et technologiques, on entreprit la fabrication de la « soie artificielle », obtenue à partir d'une solution de nitrocellulose extrudée à travers une filière de verre comportant des orifices extrêmement fins. Quelques années plus tard, ce procédé fut amélioré par Bemberg, qui réalisa la rayonne cupro-ammoniacale ou rayonne Bemberg, que l'on continue encore de produire, surtout en Italie et en Allemagne. Vers 1900, on mit au point, en Angleterre, un procédé assez complexe, mais très économique, qui, partant de la cellulose de la pâte de bois, permet d'obtenir ce qu'on appelle des fils de viscose, avec lesquels on réalise des tissus de faible coût mais dotés néanmoins de bonnes caractéristiques. Vers 1920, on mit au point un autre procédé, dit à l'acétate de cellulose, qui permet d'obtenir, toujours à partir de la pâte de bois, des filés et des tissus peu onéreux se prêtant à toute une série d'utilisations.

La fibre de verre, appartenant aux fibres artificielles, connaît de nombreux emplois industriels, mais elle ne se prête pas à la fabrication d'étoffes pour l'habillement. Un certain nombre d'autres fils, obtenus à partir de protéines animales (caséine) ou végétales (globulines extraites des arachides), présentent un intérêt industriel,

Rhodiacetate



Étirage de fils de polyamide.

mais d'importance secondaire. La fibre obtenue à partir de la caséine connut son moment de célébrité vers 1940, tandis que certaines fibres provenant des globulines des arachides sont toujours commercialisées dans certains pays.

PRINCIPALES FIBRES SYNTHÉTIQUES

La première fibre synthétique est, dans l'ordre chronologique, le Nylon 6-6 qui appartient aux fibres polyamides, et entre dans la catégorie des fibres de polycondensation. Comme dans presque tous les processus de fabrication, on obtient d'abord le polymère à l'état solide ; celui-ci, porté à la température convenable, peut être extrudé à travers les orifices d'une filière, fournissant ainsi directement des fils que l'on soumet à différents traitements jusqu'à l'obtention du produit apte au tissage.

D'autres fibres polyamides sont obtenues par des processus plus ou moins semblables à celui du Nylon 6-6 ; elles sont commercialisées sous des noms divers (à titre d'exemple, le Perlon, de production allemande, le Delfion et le Lilion, de production italienne). Comme matières premières, on peut utiliser des substances telles que l'huile de ricin, à partir desquelles, au moyen de traitements appropriés, on obtient le monomère se prêtant à la polycondensation qui fournira la fibre.

Autre famille de fibres de polycondensation : les fibres polyesters. Le Terylene, anglais, le Tergal, français, et le Terital, italien, sont parmi les plus connus. Un troisième groupe de fibres de polycondensation est constitué par les fibres de polyuréthannes.

Les fibres de polymérisation sont encore plus nombreuses. Les fibres polyvinyliques (résultant de la polymérisation du chlorure de vinyle, lui-même obtenu par l'action du chlore et de l'oxygène sur l'éthylène) occupent une place très importante, sous des noms commerciaux divers (Rhovyl, Clevyl, Movil, etc.). Le Vinyon est obtenu par polymérisation d'un mélange de chlorure de vinyle et d'acétate de vinyle ; dans ce cas, on parle de copolymère, mais une telle substance peut résulter aussi de différentes associations de monomères.

Il existe aussi une nombreuse famille de fibres polyacryliques, issues de la polymérisation de l'acrylonitrile et que l'on appelle habituellement fibres acryliques. Appartiennent à ce groupe l'Orlon, de fabrication américaine, le Crylor, de fabrication française, le Dralon en Allemagne, etc. Chimiquement proches des fibres polyvinyliques, le Velon et le Saran sont obtenus par polymérisation du chlorure de vinylidène. On assiste également à l'essor d'autres fibres synthétiques de polymérisation obtenues à partir de l'éthylène (fibres polyéthyléniques) et du propylène (fibres polypropyléniques).

Du point de vue quantitatif, les fibres synthétiques occupent la deuxième place de la production mondiale de textiles, immédiatement après le coton. Mais, alors qu'on ne peut prévoir une augmentation sensible de la production de coton, l'accroissement de la production des fibres artificielles est très rapide, et, dans quelques années, elles occuperont la première place. Du point de vue économique, les progrès en cours dans le domaine de la production des fibres textiles artificielles promettent une réduction sensible et progressive des coûts, en même temps que les matières utilisables deviennent de plus en plus nombreuses. L'industrie des fibres textiles artificielles, qui se développe parallèlement à celle des matières plastiques, est étroitement liée à la pétrochimie, dont elle utilise largement les produits.

Installation pour la production de fibres polyesters. Ces fibres sont particulièrement aptes à fournir, par mélange avec des fibres naturelles telles que le coton et la laine, des fils mixtes remarquablement résistants et infroissables.

Rhodiacetate

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

Les fibres textiles artificielles présentent des propriétés très intéressantes par rapport aux fibres naturelles. Deux caractéristiques sont à prendre en considération lorsqu'on les étudie : la ténacité et l'allongement. La ténacité est la charge (en grammes) qui provoque la rupture à la traction d'un fil de un denier. Le denier, vieille unité de mesure encore en usage dans l'industrie textile, représente le poids (en décigramme) de 900 mètres de fil. De ce point de vue, les fibres synthétiques se montrent égales, et souvent même supérieures, aux fibres naturelles. La plus tenace des fibres naturelles, le chanvre, présente des valeurs de 6-8, tandis que le meilleur coton et le meilleur lin ont une valeur toujours inférieure à 6. Le Nylon dépasse nettement 8, les fibres polyesters ont des valeurs voisines de 4, les fibres propyléniques des valeurs voisines de 5. En revanche, les valeurs de la soie se situent entre 3 et 5 et celles de la laine entre 1 et 1,7. L'allongement donne la mesure de l'élasticité ; il exprime, en pourcentage, l'augmentation de longueur que peut subir un échantillon de fil à l'intérieur de ses limites d'élasticité. De ce point de vue, la laine et la soie présentent des valeurs élevées : 28-50 % pour la laine, 13-20 % pour la soie. Les fibres végétales naturelles ont, par contre, des valeurs très faibles : 5-7 pour le coton, 2-3 pour le lin et le chanvre. Les fibres acryliques, avec des valeurs de 20-30, se situent à mi-chemin entre la soie et la laine, les fibres polyamides (30-40) et les fibres polyesters (35-42) sont très proches de la laine, tandis que les fibres de polypropylène, avec des valeurs de 70-90, sont nettement supérieures à toutes les autres fibres.

Autre propriété très importante des fibres synthétiques : leur très faible aptitude à absorber et à retenir l'eau ou d'autres liquides. Ainsi, il est beaucoup plus facile de détacher et de laver les tissus en fibres synthétiques. Quant aux fibres polyesters, elles se prêtent parfaitement à une utilisation en mélange avec des fibres naturelles (laine et coton). Dans ces types de tissus, la fibre naturelle pallie en partie les inconvénients résultant de la faible affinité de la fibre synthétique pour l'humidité (le fait, en particulier, que, absorbant peu la transpiration, la fibre synthétique peut se révéler peu hygiénique) ; de son côté, la fibre synthétique diminue le temps de séchage, rend les tissus pratiquement infroissables et supprime totalement ou partiellement le repassage.

Les fibres synthétiques sont cependant moins résistantes à la chaleur que les fibres naturelles, végétales ou animales. D'une manière générale, la plupart se plastifient vers 120 °C, ce qui impose des précautions particulières lors du repassage. Par ailleurs, toujours dans le domaine de l'habillement, notamment en bonneterie, les fibres synthétiques ne feutrent pas sous l'effet de la transpiration ou des lavages répétés, inconvénient typique de la laine. En raison de leur grande stabilité chimique, elles peuvent même être lavées avec des produits très actifs sans subir de dommages. En ce qui concerne les propriétés tinctoriales des fibres synthétiques, les problèmes ont finalement été résolus en mélangeant des pigments colorés dans la masse plastique avant l'extrusion. Aujourd'hui ces difficultés sont entièrement surmontées, et certains tissus en fibres synthétiques peuvent même être colorés par impression.

La capacité de production des fibres chimiques a été pour l'ensemble du monde de 11,5 millions de tonnes en 1973 (7,7 millions de tonnes pour les fibres synthétiques et 3,8 millions de tonnes pour les fibres artificielles). Cette même année, la production de fibres naturelles était de 14,4 millions de tonnes (coton + laine).

GAZ DE PÉTROLE LIQUÉFIÉS

Les gaz de pétrole liquéfiés, désignés commercialement par le sigle G.P.L., ont acquis au cours des trente dernières années une importance considérable. Il s'agit du propane, du butane, de leur mélange et des gaz oléfiniques (propène et butène) qui les accompagnent.

Ces gaz (propane et butane) accompagnent le pétrole brut extrait du sol ; autrefois, on les brûlait à la tête de puits afin d'éviter les dangers d'incendie qu'ils auraient constitués si on les avait laissés « libres ». Ces gaz « associés » au brut n'avaient aucune valeur commerciale. Depuis un demi-siècle, cette pratique n'a plus cours et tous les champs pétrolifères sont dotés d'installations de captage des gaz associés qui sont transportés, par gazoducs, vers les sites industriels utilisateurs.

Les U.S.A. ont mis en service depuis plus de trente ans un réseau très dense de distribution, qui transporte les gaz des champs pétrolifères du sud vers les centres industriels du nord. La quantité la plus importante de gaz de pétrole liquéfiables ne provient pas des champs pétrolifères mais des raffineries. On sait que les essences utilisées par les moteurs automobiles doivent posséder certaines qualités antidétonantes, exprimées par l'indice d'octane ; les moteurs modernes exigent des essences à indice d'octane élevé. Aussi est-il nécessaire de soumettre l'essence obtenue par distillation du brut au processus dit de reforming, au cours duquel se forment d'importantes quantités d'hydrocarbures en C_3 et C_4. Au total, la quantité de gaz de pétrole liquéfiables obtenue aujourd'hui au cours du reforming de l'essence varie de 12 à 15 % en poids de la charge traitée. Cette même quantité est d'environ 2,3-2,4 % (toujours en poids) du total du pétrole brut soumis au raffinage. On a donc été amené à étendre considérablement les emplois de ces combustibles et à perfectionner les systèmes d'approvisionnement et de distribution.

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

Les G.P.L. présentent des caractéristiques techniques très intéressantes : en premier lieu, ils ont un pouvoir calorifique inférieur de l'ordre de 10 000 kcal/kg. En second lieu, il est possible de les maintenir à l'état liquide à la température ambiante, en les soumettant à des pressions relativement faibles (environ 3,5 atmosphères pour le butane, environ 10,5 pour le propane), ce qui n'exige pas l'emploi de récipients particulièrement robustes et lourds pour leur transport et leur stockage.

La consommation de G.P.L., en France, qui était très réduite en 1950 (116 000 tonnes), est montée, en 1960, à 893 000 tonnes et n'a cessé d'augmenter, doublant presque tous les cinq ans, pour atteindre 2 600 000 tonnes en 1975.

Cette évolution se poursuivra encore pendant plusieurs années à la faveur des nouvelles utilisations dans le domaine industriel et de l'augmentation des capacités de production des raffineries.

La difficulté de séparer les hydrocarbures légers ayant 2 à 4 atomes de carbone conduit à admettre la commercialisation de gaz qui ne sont pas parfaitement purs au sens chimique du terme. Ainsi le butane commercial est défini comme un mélange d'hydrocarbures constitué principalement de butanes et de butènes et pouvant renfermer du propane en faibles proportions. Le propane commercial est composé dans la proportion de 90 % environ de propane et de propène et, pour le surplus, d'éthane, d'éthylène, de butanes et de butènes.

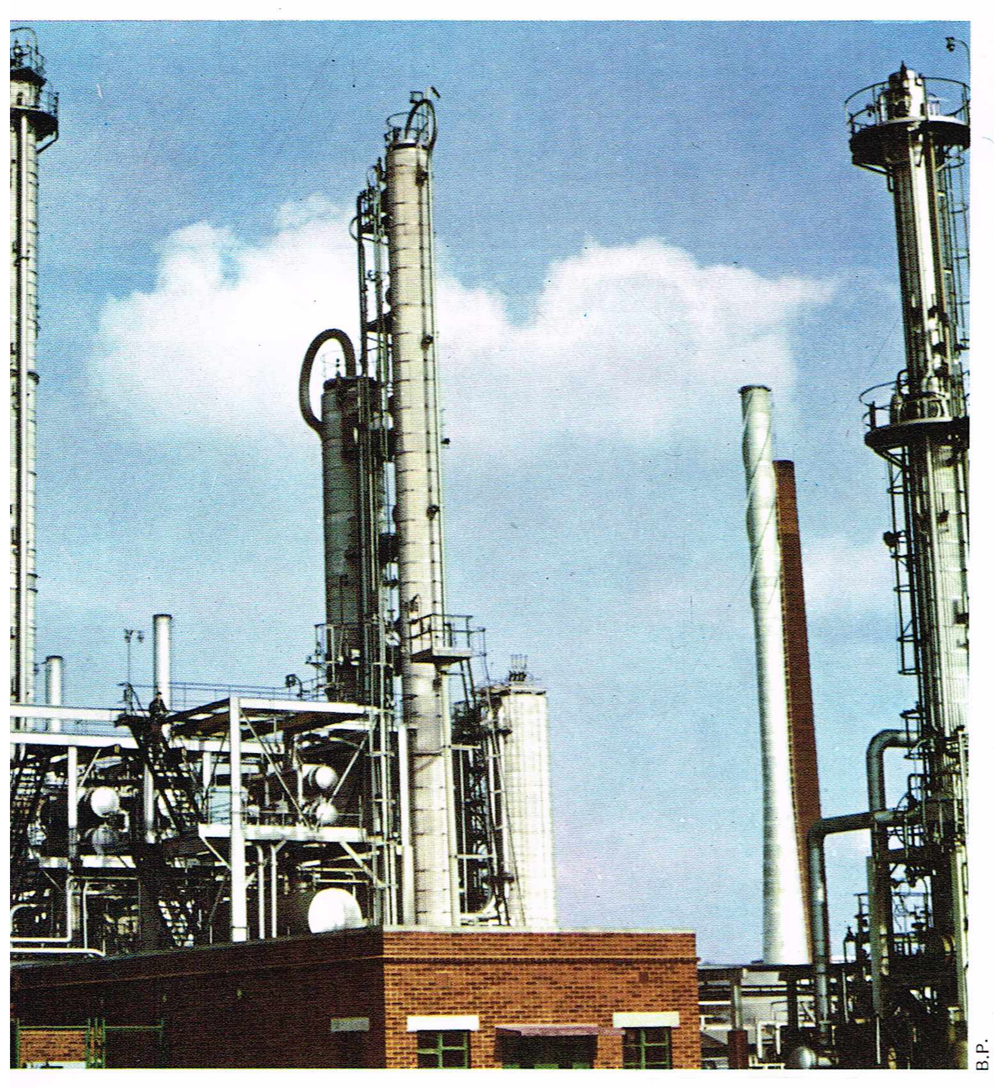
On conçoit que pour des raisons de sécurité et pour assurer le bon fonctionnement des installations domestiques ou industrielles utilisant ces gaz, on soit amené à fixer des spécifications limitant en fait la teneur dans le gaz des produits trop légers ou trop lourds.

Ainsi la tension de vapeur à 50 °C est limitée à 7,5 bars pour le butane et à 19,3 bars pour le propane. La température de 50 °C a été choisie comme correspondant à la température maximale que peut atteindre une bouteille exposée au soleil. Cette limitation correspond pour le propane à 7 molécules pour 100 d'éthane et pour le butane à 30 molécules pour 100 de propane. En ce qui

E.P.S.



La raffinerie de Mandan (Dakota du Nord, U.S.A.). Les gaz de pétrole liquéfiés (G.P.L.) proviennent pour l'essentiel du processus de reforming des essences.



B.P.

Usine de production des hydrocarbures en C_3 et C_4, qui entrent dans la composition des G.P.L.

concerne la teneur en composés lourds, le butane commercial ne doit pas laisser de résidu liquide supérieur à 5 % lorsqu'on l'évapore à + 1 °C alors que pour le propane, ce résidu doit être inférieur à 2 % à — 38 °C. Cette spécification limitant la teneur en composés liquides lourds assure à l'usager la possibilité d'utiliser intégralement le gaz liquéfié de la bouteille sans craindre la présence en fin d'utilisation d'un résidu invaporisable qui, s'accumulant après chaque recharge, causerait des difficultés multiples à l'utilisation.

De même les G.P.L. ne doivent pas contenir d'eau qui constitue un liquide non vaporisable à la température d'emploi et qui, par ailleurs, risque de former des cristaux de glace à basse température. En ce qui concerne les mercaptans malodorants, aucune spécification ne prévoit leur élimination puisqu'ils permettent de déceler la fuite éventuelle de ces gaz. On limite simplement à un très bas niveau (0,005 % en masse pour le propane) la teneur en soufre pour des raisons de pollution.

PRINCIPALES RÈGLES DE SÉCURITÉ

Le respect de quelques règles très simples permet une utilisation domestique sans risques des G.P.L. Lorsque les circonstances le permettent, il est préférable de placer la bouteille à l'extérieur, ce qui, en cas de fuites dues à l'usure ou aux mauvaises connexions du raccord, empêche le gaz de se répandre à l'intérieur de l'habitation. La quasi-totalité des accidents enregistrés dans l'utilisation des bouteilles de G.P.L. est imputable à des fuites à l'extérieur de la bouteille (raccord, brûleur, etc.) ou à des fausses manœuvres au moment du remplacement d'une bouteille vide. Les explosions de bouteilles sont des accidents inexistants dans les conditions normales d'utilisation.

Le transport des G.P.L. par camions-citernes pourrait également être une source importante de danger en cas d'accident de la circulation. En fait ces accidents sont extrêmement rares, cependant l'augmentation constante de la consommation de G.P.L. a conduit, pour des raisons de sécurité et d'économie, à l'abandon progressif de ce type de transport et à son remplacement par un système de transport par gazoducs. Les établissements industriels, grands et petits, constituent, sur le plan quantitatif, la clientèle la plus importante : une usine de moyenne dimension équipée pour utiliser les G.P.L. comme source de chaleur consomme à elle seule autant que la population d'une région assez étendue.

UTILISATION INDUSTRIELLE DES G.P.L.

Il n'y a pratiquement pas de limites, sinon économiques, à l'emploi industriel des G.P.L., et cela en raison des avantages importants qu'ils offrent : ils possèdent un pouvoir calorifique élevé, une composition constante et facilement contrôlable ; ils ne contiennent que des quantités négligeables de composés soufrés ; ils permettent un contrôle facile de la combustion et ne laissent de dépôt goudronneux ou résineux ni dans les canalisations, ni dans les brûleurs.

Pour une installation industrielle consommant une certaine quantité de G.P.L., on ne saurait se contenter des simples bouteilles de 5 ou 10 kilos, suffisantes pour les emplois domestiques : des récipients beaucoup plus importants sont nécessaires, soit isolés, soit reliés en batterie. Pour une consommation dépassant deux kilogrammes par heure environ, il faut réchauffer le gaz liquéfié afin de compenser la chaleur que celui-ci absorbe en s'évaporant. Ce phénomène se produit aussi en utilisation domestique, mais à une échelle beaucoup plus réduite, et l'air ambiant suffit à apporter la chaleur nécessaire. Les installations de type industriel comportent souvent des dépôts de gaz d'une capacité allant de quelques dizaines à plusieurs centaines de m^3 ; les récipients sont alors toujours munis de dispositifs de pompage, de soupapes de sécurité, de systèmes de circulation, de compteurs ; ils sont reliés, le plus souvent, à un réseau de distribution.

Un emploi intéressant des G.P.L. concerne la traction automobile, pour les véhicules utilisés en ville. Ce type d'utilisation comporte un certain nombre d'inconvénients : nécessité d'installer une bouteille à bord et d'en assurer le réapprovisionnement selon des modalités particulières ; diminution de la puissance développée par le moteur, conçu pour fonctionner à l'essence ; reprises beaucoup moins énergiques. En revanche, le moteur connaîtra une longévité nettement supérieure et exigera un entretien fort réduit ; en outre, les moteurs équipés en G.P.L. émettent des gaz d'échappement « propres », c'est-à-dire ne contenant que de très faibles quantités de CO et des traces minimes de tous ces composants chimiques polluants qui sortent des tuyaux d'échappement des véhicules à essence et à gas-oil.

Les G.P.L. connaîtront également de plus larges emplois en agriculture, notamment pour le chauffage des serres. Pour les mêmes motifs d'économie et de commodités d'emploi, leur usage ira en augmentant pour le chauffage de grands ensembles industriels et urbains.

Dans le domaine industriel, les G.P.L. trouvent d'excellents débouchés dans les papeteries, les fabriques de céramique et de verre, les fonderies, les usines affectées aux très nombreux traitements thermiques des métaux, etc. Dans ce domaine, la diffusion des G.P.L. s'étendra parallèlement à l'amélioration des conditions d'approvisionnement et à la transformation progressive des installations conçues pour fonctionner avec un combustible d'un autre type.

Enfin, le propane s'implante dans un emploi particulier, celui de la coupe à la flamme de barres métalliques, plaques de tôle, etc., emploi pratiquement réservé jusque-là au chalumeau oxyacétylénique. De nombreux spécialistes n'hésitent pas à affirmer, chiffres à l'appui, que la coupe au chalumeau oxypropanique est nettement plus économique, et ce dans 90 % des cas.

LE LABORATOIRE DE CHIMIE

Voici encore quelques années, l'occupation essentielle du chimiste consistait à synthétiser de nouveaux composés à partir de composés connus, et le laboratoire de chimie avait un équipement très simple, qui se réduisait essentiellement aux appareils en verre, tels ballons, burettes, éprouvettes, verres à pied, béchers, colonnes, etc.

Au fur et à mesure que les connaissances techniques et scientifiques (surtout dans le domaine de la physique et de l'électronique) progressaient et que l'intérêt du chimiste s'étendait à d'autres domaines, comme celui de la structure des molécules, de la cinétique des réactions, de l'emploi des isotopes radioactifs, des appareils nouveaux sont apparus, afin de rendre la recherche plus rapide et plus aisée : ce sont les chromatographes pour la séparation des mélanges de substances, les spectrophotomètres dans le visible et dans l'infrarouge, les spectromètres de résonance magnétique nucléaire, les spectrographes de masse et d'absorption atomique.

Le chimiste est appelé presque quotidiennement à réaliser des séparations et des identifications de substances tant liquides que solides en mélanges. Pour la séparation des liquides, la distillation fractionnée est toujours très employée, surtout si on travaille sur des quantités relativement importantes de substances. La séparation se fonde sur le fait que chaque composé possède son propre point d'ébullition, mesuré au moyen d'un thermomètre, plongé dans les vapeurs en équilibre avec le liquide. Une fois séparés, les différents composés sont identifiés grâce à leurs propriétés physiques, chimiques et spectroscopiques.

Cette méthode était difficilement applicable à la séparation de très petites quantités de mélanges liquides. Aujourd'hui, le problème a été résolu grâce à la séparation par chromatographie en phase gazeuse.

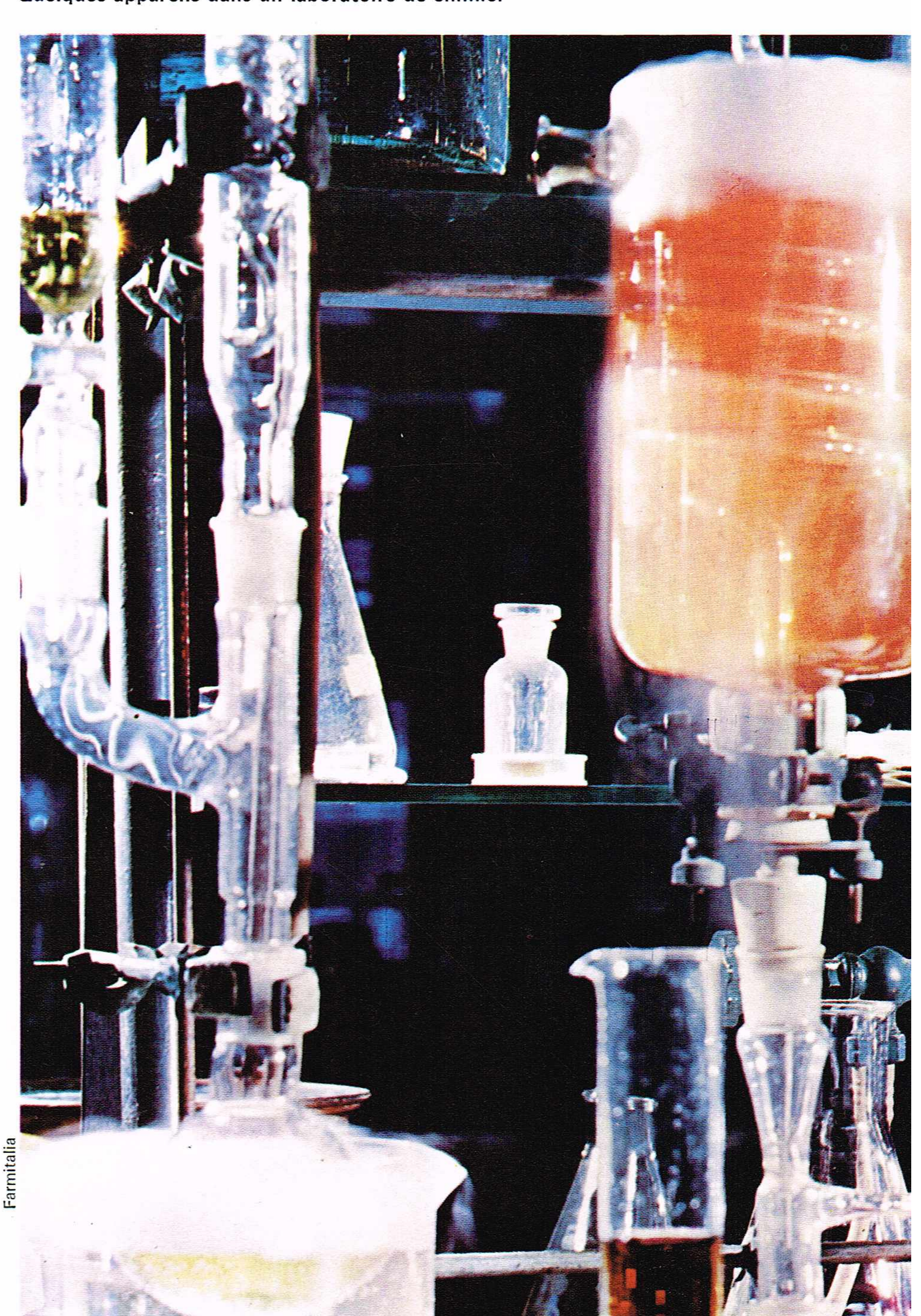
Ce principe est aisé à comprendre en observant ce qui se passe lorsqu'un mélange de substances, dispersé dans un courant de gaz inerte (habituellement l'azote, l'hydrogène ou l'hélium) appelé « gaz porteur », est introduit au sommet d'une colonne de métal ou de verre contenant une substance appropriée (en général un liquide à point d'ébullition très élevé, appelé « phase stationnaire ») absorbée sur un solide inerte qui lui sert de support. Les substances en mélange se partagent de manière inégale entre le courant de gaz inerte et la phase stationnaire et sortent séparément de la colonne. Les fractions faiblement retenues par la phase stationnaire sortent en tête, suivies de celles qui le sont davantage.

CHROMATOGRAPHIE EN PHASE GAZEUSE

L'appareil est constitué par une colonne comportant au sommet une zone d'injection, par laquelle on introduit le mélange dans la chambre de vaporisation à travers une membrane en caoutchouc. Le gaz porteur véhicule le mélange vaporisé dans la colonne, placée dans une enceinte thermostatisée (four) qui peut être chauffée jusqu'à 300-350 °C et même davantage. Un détecteur est placé à la sortie de la colonne ; selon le type d'appareil, ce détecteur sera un thermistor, un catharomètre ou un détecteur à ionisation de flamme ou à capture d'électrons. Le signal électrique provenant du détecteur est transmis à un enregistreur. En l'absence de signaux émanant du détecteur, c'est-à-dire lorsque aucune substance ne sort de la colonne, la plume trace une ligne horizontale (ligne de zéro ou ligne de base) ; *lorsqu'une substance sort, la plume trace un pic, dont l'aire est généralement proportionnelle à la quantité de substance.*

Le temps qui s'est écoulé entre l'introduction de l'échantillon et l'apparition du sommet du pic est appelé temps de rétention *et indiqué par Rf. Chaque substance possède un temps de rétention caractéristique, reproductible dans les mêmes conditions d'utilisation de l'appareil, et cela permet d'identifier une substance en mélange avec d'autres en connaissant le Rf d'un échantillon pur de cette substance. Cet appareil est très utile dans l'analyse des essences et des mélanges d'hydrocarbures en général, des essences parfumées et des arômes naturels, des huiles comestibles, etc.*

Quelques appareils dans un laboratoire de chimie.



Farmitalia

CHROMATOGRAPHIE EN COLONNE OU SUR PLAQUE

Pour la séparation de mélanges solides on recourt très souvent à la chromatographie en colonne ou sur plaque, selon que l'on dispose de beaucoup ou de peu de substances. Les principes de la séparation sont identiques à ceux de la chromatographie en phase gazeuse, sauf qu'ici la phase stationnaire est constituée par un support solide (« absorbant ») et la phase mobile par un solvant liquide.

Dans la technique de la séparation en colonne, le mélange des substances est dissous dans un solvant et introduit au sommet d'une colonne de verre contenant la phase stationnaire (alumine, farine fossile, silice, amidon, etc.) ; en introduisant un solvant approprié, on recueille les substances séparées à la sortie de la colonne.

Dans la chromatographie en couche mince, on enduit une lame de verre (plaque) d'une légère couche d'absorbant solide et on dépose à la base de la couche une goutte de solution (tache), puis on place verticalement la plaque dans une cuvette contenant un liquide (éluant). L'éluant monte par capillarité dans la couche absorbante et entraîne les substances contenues dans la goutte de solution à des hauteurs différentes, réalisant ainsi leur séparation. Après avoir vaporisé sur la plaque avec un révélateur approprié (acide sulfurique concentré à 120°), on voit apparaître des taches sombres aux endroits où se sont localisées les différentes substances.

LES SPECTROPHOTOMÈTRES

L'appareil le plus utilisé est le spectrophotomètre dans l'ultraviolet et dans le visible. Cet instrument est fondé sur le principe de l'absorption d'une ou plusieurs radiations visibles ($\lambda = 4\,000$-$7\,000$ Å) ou ultraviolettes ($\lambda = 2\,000$-$4\,000$ Å) par les électrons des chromophores d'une substance (doubles liaisons, cycles aromatiques, groupes carbonyles ou nitriles, etc.). Schématiquement, un spectrophotomètre UV est constitué par une source qui émet un rayonnement, lequel traverse une solution de l'échantillon placée dans une cuvette de quartz, par un prisme, qui analyse et sépare le faisceau en radiations isolées, par une cellule photoélectrique, qui mesure l'intensité des radiations sortant de l'échantillon et la compare avec celle d'une radiation qui traverse un témoin. Outre la détermination qualitative, la spectrophotométrie UV permet aussi la détermination quantitative, puisque chaque substance, à l'état pur, absorbe un certain type de radiations et avec une intensité bien déterminée (coefficient d'absorption). En comparant cette absorption avec celle d'un mélange, on peut calculer le pourcentage de la substance considérée présent dans le mélange. La spectrophotométrie UV trouve de très nombreuses applications dans le domaine des matières colorantes, le contrôle de la production, l'analyse de mélanges complexes de médicaments. Les instruments les plus récents analysent en continu de nombreux échantillons, et les résultats sont transcrits sous forme numérique par un calculateur électronique.

Dans la spectrophotométrie infrarouge (IR), l'absorption des radiations IR ($\lambda = 2$-$20\ \mu$) provoque des élongations des liaisons et des déformations des angles de celles-ci dans la molécule. Le spectrophotomètre est constitué par une source de rayons IR (un filament incandescent), qui traversent l'échantillon placé dans une cellule de chlorure de sodium parfaitement transparente. Les rayons IR sont ensuite analysés par un prisme (ou, mieux, par un réseau) et leur intensité est mesurée par comparaison avec un rayon qui n'a pas traversé l'échantillon. Le spectre IR se présente comme une série de pics correspondant à chaque longueur d'onde pour laquelle il y a eu absorption. Il existe des zones du spectre où il y a des absorptions caractéristiques de certains groupements, comme les doubles liaisons entre 6 et 6,5 μ, les groupes carbonyles entre 5 et 6 μ, les oxhydryles vers 3 μ, et ainsi de suite, tandis que, dans la zone comprise entre 8 et 12 μ, souvent appelée région « empreinte digitale », on observe un certain nombre de pics d'absorption caractéristiques de la substance analysée. En pratique, on utilise rarement les longueurs d'onde mais les fréquences de radiation. Le spectrophotomètre IR sert à identifier les groupes chimiques présents dans une molécule et à vérifier l'identité d'une substance inconnue.

En raison de leur maniement très simple, de leurs larges possibilités d'application et de leur prix relativement bas, les spectrophotomètres UV et IR connaissent une grande diffusion.

LE SPECTROSCOPE DE RMN

Les principes de la spectroscopie RMN sont assez complexes. Considérons néanmoins un atome (par exemple H^1, F^{19}, P^{13}) possédant un noyau avec un moment de spin (un mouvement de rotation autour d'un axe, comme celui de la Terre) plongé dans un champ magnétique (dit « principal »). Supposons que la rotation s'effectue dans le sens des aiguilles d'une montre. Si on crée un champ magnétique (dit « auxiliaire ») dans une direction perpendiculaire à celle du mouvement initial, le noyau absorbera de l'énergie (résonance) et tournera dans la même direction mais en sens contraire. Pour une certaine valeur du champ magnétique principal, chaque noyau a sa propre valeur de champ auxiliaire auquel se produit le phénomène de résonance et cela permet de différencier les divers noyaux. Mais il est possible d'opérer une différenciation même entre noyaux du même type, puisque la résonance dépend de l'environnement chimique de chaque atome.

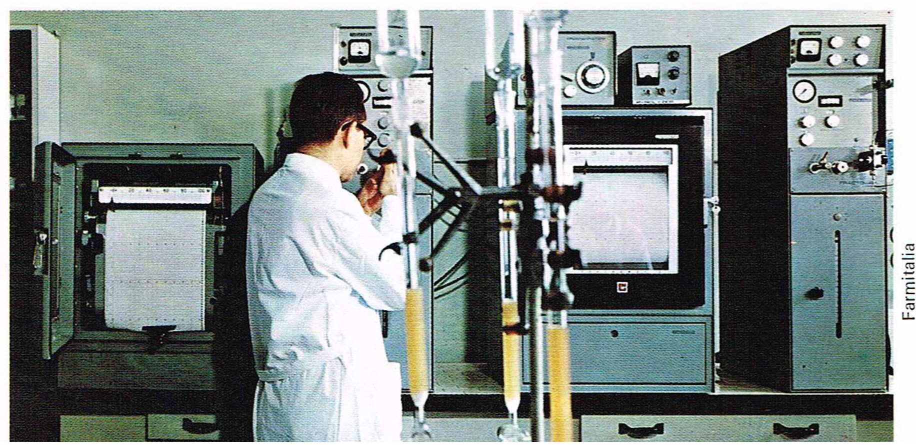
Considérons, par exemple, un atome d'hydrogène dans une molécule de méthane CH_3—H, de benzène et d'un aldéhyde $R{-}C\begin{matrix}{/\!\!/}O\\ \backslash H\end{matrix}$ *. Les trois atomes ont des environnements chimiques très différents et présentent effectivement une résonance à des champs différents. Ainsi, non seulement il est possible de savoir si une substance contient des atomes de H^1, F^{19}, etc., mais aussi de connaître le « type » de ces atomes. Ces informations sont très importantes pour le chimiste, à tel point qu'on peut affirmer que le spectromètre de RMN est sans aucun doute l'appareil le plus utile dans un laboratoire de recherches.*

LE SPECTROGRAPHE DE MASSE

Le spectrographe de masse sert à mesurer les masses des ions positifs. Lorsqu'une molécule d'une substance est bombardée par des électrons possédant une énergie suffisante, il se forme un ion positif qui se fragmente ensuite en de nombreux autres ions positifs. Ils subissent une accélération de la part d'un champ électrique, et sont déviés dans leur trajectoire par un champ magnétique et enregistrés. Certains instruments comportent un enregistreur à plume semblable à celui d'un chromatographe. Dans les appareils plus récents, le signal aboutit à un galvanomètre à miroir, qui subit un déplacement angulaire proportionnel à l'intensité du courant. Un pinceau lumineux frappe le miroir et se réfléchit sur un papier photosensible sur lequel il trace le spectre des masses et de l'abondance des ions. L'appareil comporte une source d'électrons et une pompe à vide.

La spectrométrie de masse permet de déterminer exactement *la masse moléculaire d'une substance par l'intermédiaire de la masse de l'ion correspondant ; les autres méthodes (cryoscopique, osmométrique, etc.) ne donnent qu'une valeur approchée de la masse moléculaire.*

Un chromatographe en phase gazeuse.



Farmitalia

LES CAOUTCHOUCS SYNTHÉTIQUES

*On appelle caoutchoucs synthétiques toutes les substances à structure macromoléculaire qui ont des propriétés élastiques analogues à celles du caoutchouc naturel extrait de l'*Hevea brasiliensis *et que l'industrie chimique produit pour remplacer celui-ci dans ses multiples applications.*

Ces composés, appelés élastomères, *doivent posséder certaines propriétés mécaniques ; ainsi, soumis à des forces de traction relativement faibles, ils doivent pouvoir supporter des allongements importants sans se rompre ; lorsque l'action de ces forces cesse, ils doivent reprendre rapidement leur forme et leur dimension initiales. En outre, ils ne doivent présenter aucune distension, même lorsque la sollicitation mécanique est appliquée pour une période longue ou de manière répétée.*

En ce qui concerne leur structure, les caoutchoucs synthétiques, comme le caoutchouc naturel, sont constitués de très longues chaînes, disposées le plus souvent en spirales entrelacées. Ces chaînes se déroulent progressivement lorsque la matière est soumise à un étirement et subissent un allongement dans la direction de la force qui provoque la déformation. Ces phénomènes se produisent sans qu'il y ait rupture des liaisons qui unissent les chaînes entre elles, de telle sorte que les molécules dont est constitué le matériau élastique, au lieu d'atteindre et de conserver un nouvel arrangement, tendent à reprendre leur disposition spatiale primitive.

DIPENTÈNE ET ISOPRÈNE

*La nécessité de recourir à une substance synthétique susceptible de remplacer le caoutchouc naturel se fit sentir vers 1910, lorsque la demande en caoutchouc, résultant du développement de l'industrie automobile, se révéla nettement supérieure aux disponibilités du marché. Naturellement, le premier moyen mis en œuvre pour remédier à cette situation fut l'extension des plantations d'*Hevea brasiliensis, *plante tropicale qui fournit ce précieux matériau.*

Cette solution s'étant révélée nettement insuffisante, des recherches sur la structure du caoutchouc s'intensifièrent durant la Première Guerre mondiale. En effet, le blocus imposé par les Alliés obligea l'Allemagne à forcer la production industrielle de caoutchoucs synthétiques.

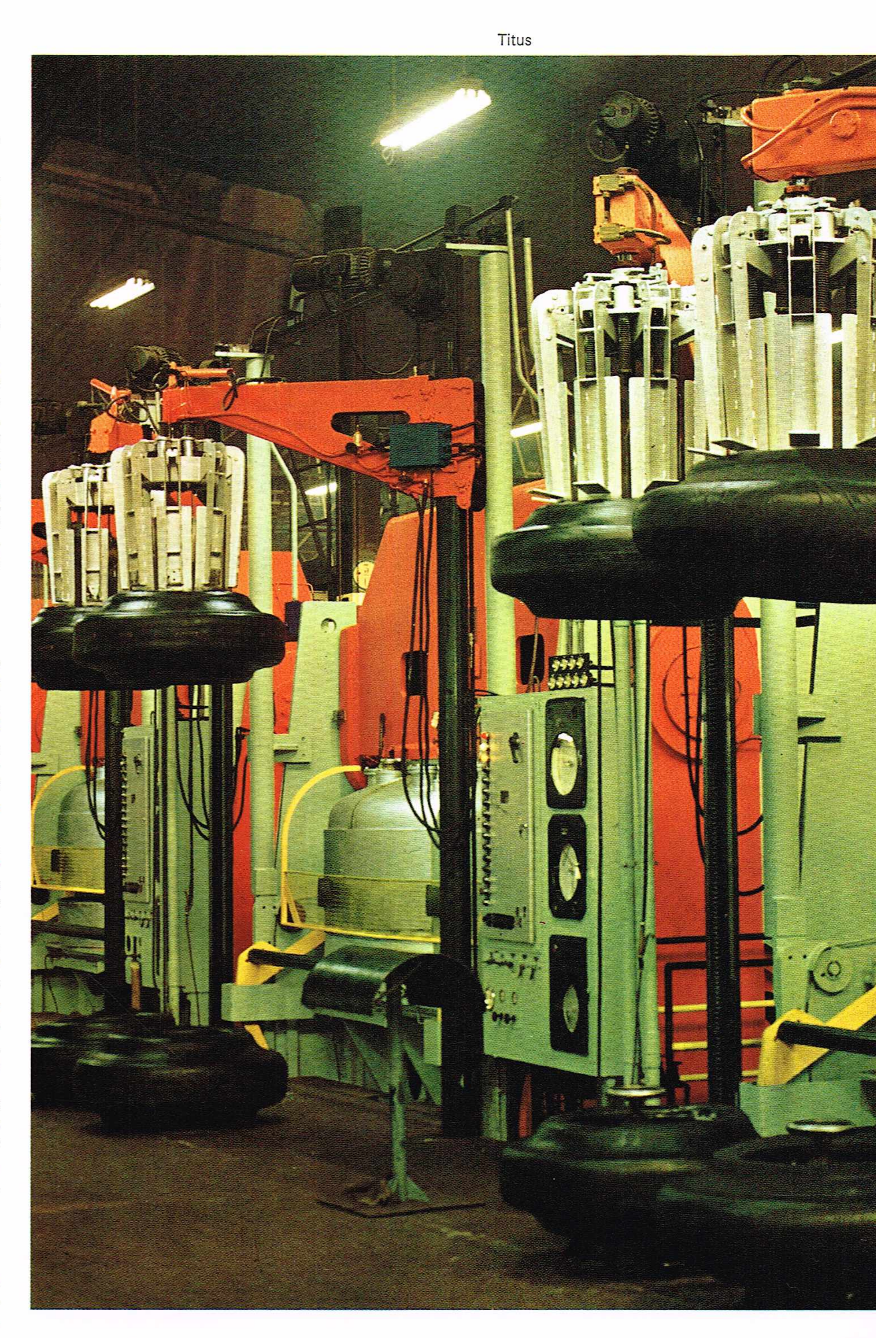
Dès le début du XIX[e] *siècle, des chimistes illustres, tels que Dumas, Liebig et Dalton, se consacrèrent à l'étude de l'huile obtenue par distillation destructive du caoutchouc. Mais ce furent Faraday, en 1826, et Grenville Williams, en 1860, qui les premiers isolèrent quelques-uns des composants les plus importants de ces huiles, respectivement le* dipentène *et l'*isoprène, *deux hydrocarbures non saturés.*

En 1889, G. Bouchardat découvrit qu'en traitant l'isoprène par l'acide chlorhydrique on obtient une masse solide, élastique, aux propriétés semblables à celles du caoutchouc, et que, en soumettant ce produit à la distillation destructive, on obtient de nouveau l'isoprène.

LES PREMIERS PRODUITS SYNTHÉTIQUES

En revanche, un autre produit fit l'objet d'une production à l'échelle industrielle, le méthylcaoutchouc, *obtenu par polymérisation du diméthyl 2,3-butadiène, substance de structure semblable à celle de l'isoprène, dont elle ne diffère que par la présence d'un radical méthyle supplémentaire, ce qui lui a valu son nom. Au cours de la Première Guerre mondiale, la production de méthylcaoutchouc atteignit en Allemagne 2 000 tonnes, mais elle fut inter-*

Titus



Une batterie de vulcaniseurs automatiques pour pneumatiques (établissements CEAT, Turin). En raison de leur résistance élevée à l'usure, les caoutchoucs synthétiques trouvent un très large emploi dans la production de pneumatiques.

Installation automatique pour la production de mélanges de gommes naturelle et synthétique.


Titus

rompue à la fin du conflit à cause de l'intérêt relativement faible de cette « gomme méthylique », tant sur le plan du prix de revient que sur celui des propriétés mécaniques.

En 1925, on assista à une nouvelle montée des prix du caoutchouc naturel, ce qui favorisa le développement d'un autre élastomère de synthèse, le polybutadiène.

Le butadiène diffère de l'isoprène par l'absence de groupement méthyle, il présente sur celui-ci l'avantage d'un prix de revient inférieur, étant facilement extractible des produits du steam-cracking. Le premier polybutadiène commercial fut produit par I. G. Farben en Allemagne en 1926 sous le nom de Buna. Il s'agissait d'un produit obtenu par polymérisation du butadiène par le sodium d'où son nom (Butadien-Natrium). Depuis, le nom de Buna est resté pour désigner des caoutchoucs synthétiques allemands non polymérisés par le sodium. Les premiers Buna avaient des propriétés mécaniques médiocres et la polymérisation était lente et difficile. Une amélioration importante à la technologie d'origine fut apportée grâce à la polymérisation en émulsion : le monomère est dispersé dans l'eau grâce à un agent tensioactif et sa polymérisation est initiée par des composés divers tels que les peroxydes.

Par ailleurs, les propriétés mécaniques des polybutadiènes furent améliorées par une technique nouvelle, la copolymérisation (polymérisation effectuée sur un mélange de deux monomères en proportions variables et non sur un seul monomère). Parmi ces copolymères, I. G. Farben développa vers 1930 les copolymères de butadiène et d'acrylonitrile (perbunan ou Buna N) et de butadiène et de styrène (Buna S). Le premier a des propriétés excellentes de résistance aux solvants, à l'abrasion et aux agents atmosphériques, ce qui a assuré son développement dans les tuyauteries affectées à la manipulation d'hydrocarbures (essences, gas-oil, etc.) ; le second se révéla excellent en particulier pour la fabrication des pneumatiques.

Aux États-Unis, durant la dernière guerre mondiale, on développa, pour faire face au manque de caoutchouc naturel, un copolymère butadiène/styrène de composition voisine de celle du Buna S des Allemands. Ce caoutchouc synthétique produit par la Rubber Reserve Company, organisme gouvernemental, était désigné par le sigle G.R.S. (Government Rubber Styrene), il est encore fabriqué actuellement sous le sigle S.B.R. (Styrene Butadiene Rubber) depuis que les brevets U.S. sont tombés dans le domaine public. C'est le principal élastomère de synthèse actuellement consommé dans le monde. Il sert essentiellement à la fabrication des pneus de voitures automobiles.

Dès les années 1930, on s'aperçoit que si les polymères et copolymères de l'isoprène et du butadiène comportent des doubles liaisons, la présence de celles-ci n'est pas nécessaire pour leur propriétés élastiques. Ainsi, les Thiokols, caoutchoucs synthétiques à base de soufre furent produits dès 1927 simultanément aux U.S.A. et en Allemagne (sous le nom de perdurène).

Les premiers Thiokols se caractérisaient par une odeur désagréable (inconvénient vite pallié), mais présentaient des qualités indéniables : résistance aux solvants, longue durée, faible perméabilité à l'air et aux gaz en général, excellente résistance aux agents chimiques. Bien que la réaction qui permet d'obtenir ces gommes soufrées fût connue depuis plus d'un demi-siècle (il s'agit pratiquement de la condensation d'une dichloroparaffine avec des polysulfures), ce n'est qu'en 1930 que les premiers produits firent leur apparition sur le marché. Certains dérivés dichlorés des hydrocarbures, tel le dichloro 1, 2 éthane, étant d'un coût peu élevé, on continue de réaliser encore la synthèse de polymères soufrés.

A peu près à la même époque, aux U.S.A. en 1931, fut découverte par Du Pont la synthèse du Néoprène, élastomère chloré résultant de la polymérisation du chloroprène (chloro 2 butadiène). Ce premier produit fut suivi de toute une série de dérivés dont un certain nombre montrèrent d'excellentes qualités de résistance aux agents atmosphériques et chimiques.

Un autre élastomère de synthèse très important est le polyisobutylène. Il résulte de la polymérisation de l'isobutène à basses températures en présence de catalyseurs acides. Ses propriétés (imperméabilité absolue et parfaite résistance aux agents de corrosion) en font un matériau précieux pour la réalisation de gaines isolantes pour câbles souterrains et sous-marins. On l'utilise aussi comme adhésif. Copolymérisé à très basse température en présence de 2 à 4 % d'isoprène, l'isobutylène fournit le caoutchouc butyl dont la qualité primordiale est une parfaite étanchéité aux gaz qui lui vaut d'être utilisé dans la fabrication des chambres à air.

Il existe aussi des caoutchoucs de silicone, dans lesquels les chaînes sont formées non pas d'atomes de carbone, mais exclusivement de motifs moléculaires où alternent des atomes de silicium et d'oxygène. Leurs caractéristiques mécaniques ne sont pas exceptionnelles, mais elles se révèlent inertes chimiquement ; leur flexibilité demeure inchangée dans un intervalle étendu de températures (de — 100 à + 310 °C). Leurs emplois (gaines de câbles, joints à haute ou basse pression, instruments chirurgicaux, etc.) sont justement en rapport avec cette importante propriété.

Les polyuréthannes *offrent des qualités appréciables, telles que dureté, résistance mécanique, ténacité aux contraintes de rupture. Les polymères fluorés se comportent remarquablement à l'égard des huiles et des solvants ; en outre, ils présentent une résistance élevée à la traction et ne subissent pas de phénomènes de relaxation appréciables, même lorsqu'ils sont maintenus pendant longtemps à des températures voisines de 200 °C.*

Les produits les plus modernes sont obtenus grâce à l'emploi de catalyseurs stéréospécifiques permettant de synthétiser des polymères à structure ordonnée et parfaitement régulière, alors que les polymères que nous venons de décrire ont des chaînes dépourvues de régularité. Ainsi à partir d'isoprène on a pu fabriquer le polyisoprène cis 1,4 qui est la réplique exacte du caoutchouc naturel. De même, le polybutadiène cis 1,4 est un excellent élastomère stéréorégulier. Enfin, par copolymérisation de l'éthylène et du propylène par des systèmes catalytiques voisins, on fabrique industriellement un nouveau caoutchouc synthétique (E.P.D.M.) qui allie à d'excellentes propriétés mécaniques un coût relativement bas.

LA POLLUTION DE L'EAU

Le problème de la pollution de l'eau, étroitement lié à celui de l'approvisionnement en eau douce à usages domestique et industriel, devient de plus en plus grave dans les pays développés. « Consommer » de l'eau, signifie en fait la transformer en eau de rejet, chargée de déchets domestiques ou industriels.

Lorsqu'il s'agit d'eau de rejet d'origine domestique, riche en produits organiques à différents stades de putréfaction, le problème admet un certain nombre de solutions qui font appel essentiellement à des processus naturels. En effet, il suffit de faire séjourner ces eaux dans des bassins contenant des bactéries actives pour que celles-ci transforment progressivement les substances en cours de putréfaction en composés de plus en plus simples, tels que nitrates, nitrites et ammoniac. Après cette phase, l'eau, bien qu'elle ne soit pas encore rendue potable, peut être déversée sans risques dans les cours d'eau qui sillonnent la campagne et où la purification s'achève, grâce notamment aux échanges qui se produisent entre l'eau et l'oxygène atmosphérique; les résidus azotés ont un effet fertilisant pour les algues et les végétaux terrestres.

On évalue à environ 150 litres par habitant et par jour la quantité d'eau transformée en eau de rejet; c'est une quantité importante, mais ces eaux admettent un traitement biologique de purification qui se révèle efficace.

Donc, jusqu'ici, on ne peut parler de véritable pollution; les eaux-vannes d'origine domestique et rurale peuvent être éventuellement épandues dans les champs, où elles exercent un effet fertilisant et où les processus biologiques caractéristiques des fosses septiques peuvent se dérouler ou s'achever de manière assez semblable à l'intérieur du sol. Les effets néfastes d'un tel procédé se limitent au dégagement d'odeurs nauséabondes et aux risques de propagation de certaines infections intéressant l'appareil digestif; mais ce danger est réduit et contrôlable.

La véritable pollution est provoquée par le déversement direct dans les canaux, les rivières, les lacs, des eaux de rejet chargées de déchets qui ne peuvent pas être dégradés par des processus biologiques naturels entraînant la décomposition des résidus organiques. Ces substances polluantes proviennent essentiellement de l'industrie; le développement croissant de l'industrie aggrave d'année en année le problème de la pollution des eaux.

Mais même les eaux ménagères sont devenues beaucoup plus polluantes qu'autrefois à cause de l'emploi intensif de détergents. Certains de ceux-ci ne sont pas dégradés par les micro-organismes et se retrouvent inchangés dans les eaux des rivières où ils se rassemblent en surface et provoquent l'apparition de mousses plus ou moins abondantes. On dit que ces détergents ne sont pas biodégradables. Dans de nombreux pays des mesures ont été prises pour limiter l'emploi de ces produits. C'est ainsi qu'en France il est interdit depuis 1970 de vendre des agents détergents si leur taux de biodégradation est inférieur à 80 %.

LA RESPONSABILITÉ DE L'INDUSTRIE DANS LA POLLUTION DES EAUX

La pollution par les eaux usées domestiques et les eaux-vannes n'est certes pas la plus importante. Il faut reconnaître que l'emploi sans cesse croissant des engrais et des pesticides de toutes sortes contribue aussi à la pollution des eaux. Mais c'est surtout l'industrie dont les rejets causent les problèmes les plus graves. Pendant de nombreuses années, au début du développement industriel, les fleuves et les cours d'eau ont constitué sinon le meilleur moyen, au moins le moyen le moins onéreux de se débarrasser des déchets de toutes natures. A cette époque, le faible développement de l'industrie faisait que la concentration à laquelle se trouvaient les impuretés déversées dans les eaux fluviales ne constituait pas, en général, un réel danger pour les êtres vivants de nos rivières. La progression industrielle dans un grand nombre de domaines a fait que certains produits toxiques rejetés dans l'eau ont fini par atteindre puis dépasser le seuil de concentration à partir duquel les animaux et les plantes aquatiques sont mis en péril.

En fait, si la pollution industrielle constitue un problème plus complexe que la pollution domestique et urbaine, en raison, en particulier, de la grande diversité des rejets de l'industrie, ce problème n'est pas sans solutions. Les industriels eux-mêmes, sans attendre une contrainte légale, remédient le plus possible aux inconvénients que leur activité peut avoir sur l'environnement. Les nouveaux procédés proposés par les sociétés d'engineering tiennent compte des problèmes de protection de l'air et de l'eau.

Installation d'épuration des eaux noires dans les Établissements Italsider de Bagnoli.



T. Vallini

Devant la grande diversité de composition des eaux résiduaires industrielles, on peut tenter un classement en quatre catégories selon qu'elles comportent des matières solides en suspension ou en émulsion, ou bien qu'elles présentent en solution des substances toxiques susceptibles de nuire à l'équilibre biologique des eaux réceptrices, ou encore que les composés qu'elles renferment sont fermentescibles, donc éliminables par voie biologique. Enfin une quatrième catégorie comprend les eaux chargées de substances radioactives ou de certains composés toxiques particuliers. A chacune de ces catégories d'eaux industrielles correspondent des modes de traitements appropriés.

Il serait hors de propos de dresser ici la liste des principales industries polluantes. Parmi celles qui rejettent surtout des composés organiques, on peut citer les brasseries et les distilleries qui, outre les désinfectants et détergents utilisés pour le lavage des bouteilles, déversent des eaux renfermant des résidus de houblon, des sulfates et un fort pourcentage de substances organiques putrescibles. Les industries laitières et fromagères rejettent des eaux fortement chargées en hydrates de carbone et en détergents et qui sont habituellement très alcalines. Les industries de la viande (abattoirs, ateliers de traitement des déchets animaux, etc.) déversent du sang, des aliments partiellement digérés, des poils, des morceaux de chair, etc. Les industries alimentaires, comme les conserveries, rejettent aussi un grand nombre de substances polluantes.

D'autres industries rejettent des eaux résiduaires à caractère essentiellement minéral, il s'agit par exemple des mines, des traitements de minerais, des industries métallurgiques et des industries chimiques minérales. Ainsi, l'industrie métallurgique, selon les branches d'activité, rejette dans ses eaux des cyanures, des phénols, des huiles, des acides forts, des oxydes métalliques, le tout en quantités énormes.

Enfin certaines industries rejettent à la fois des composés organiques et minéraux. Ainsi, les tanneries déversent dans les eaux des fragments putrescibles de tissus animaux, de sulfure de sodium, des composés du chrome, de la chaux, des graisses, des colorants, des détergents, etc. Les composés du chrome peuvent constituer un sérieux problème car ils sont très stables et peuvent s'infiltrer dans le sol et contaminer les nappes phréatiques. C'est ainsi qu'en Italie, les tanneries de Brianza ont provoqué la pollution de toute une série de puits alimentant en eau potable l'agglomération milanaise jusqu'à une profondeur supérieure à 50 mètres, obligeant la cité à faire des forages à plus de 200 mètres après avoir condamné les puits pollués. L'industrie textile décharge elle aussi des tonnes de substances polluantes et consomme d'énormes quantités d'eau atteignant, dans le cas de la rayonne, 1 000 mètres cubes par tonne de produit fini. A ce sujet, les papeteries sont, aussi, grandes consommatrices d'eau, ainsi que l'industrie de l'aluminium. Le raffinage du pétrole, autrefois grand consommateur d'eau de refroidissement, a très fortement diminué cette consommation par l'emploi d'aéroréfrigérants (refroidissement par l'air ambiant grâce à d'immenses ventilateurs).

La pollution par les hydrocarbures pétroliers, pour spectaculaire qu'elle soit en mer à la suite d'accidents de navires, est peu importante au niveau des raffineries qui sont soumises à une limitation sévère de leurs rejets. Par contre, une pollution permanente et insidieuse, difficilement soumise à un contrôle, peut exister par le rejet volontaire ou non d'huiles de vidange de voitures.

Il est impossible de poursuivre jusqu'à son terme l'énumération des pollutions industrielles, cependant les quelques exemples qui viennent d'être cités pourraient déjà donner l'impression d'une situation alarmante. Il n'en est rien pour deux raisons.

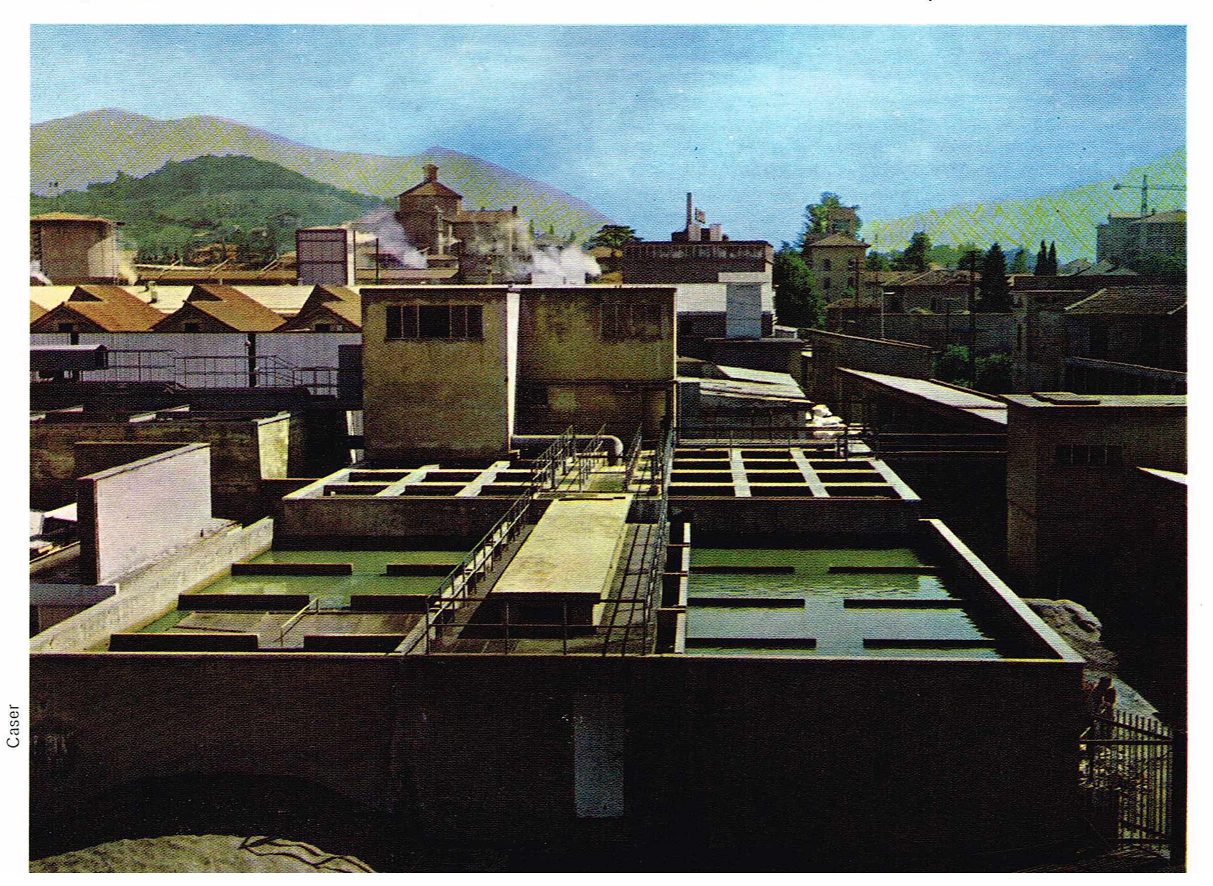
D'une part, la technique moderne permet de lutter contre la pollution de l'eau. D'autre part, une législation se met progressivement en place pour limiter les abus et aider à la mise en œuvre de solutions techniques.

Bien que depuis longtemps la loi sur les établissements classés relative aux « établissements dangereux, incommodes ou insalubres » constitue la charte fondamentale de toutes nuisances industrielles, on a dû, le 16 décembre 1964, promulguer une loi qui prévoit dans ses grandes lignes la politique de l'eau.

La mission d'assurer à tous les utilisateurs l'approvisionnement en eau, tant en qualité qu'en quantité, est du ressort des Agences de bassins, au nombre de six. Pour disposer des moyens nécessaires aux études et aux travaux, on a institué des redevances de pollution qui s'ajoutent aux redevances de consommation. La redevance de pollution est calculée en fonction de la quantité de polluants rejetés en tenant compte du taux de matières en suspension et de la demande en oxygène des eaux rejetées.

Le plus grand problème de la pollution des eaux n'est pas d'ordre technique mais humain. Il faut que chacun prenne conscience de l'importance vitale qui réside dans la conservation d'eaux douces absolument nécessaire au maintien de la vie sur notre planète.

Installation de clarification et de filtrage des eaux à usage industriel.



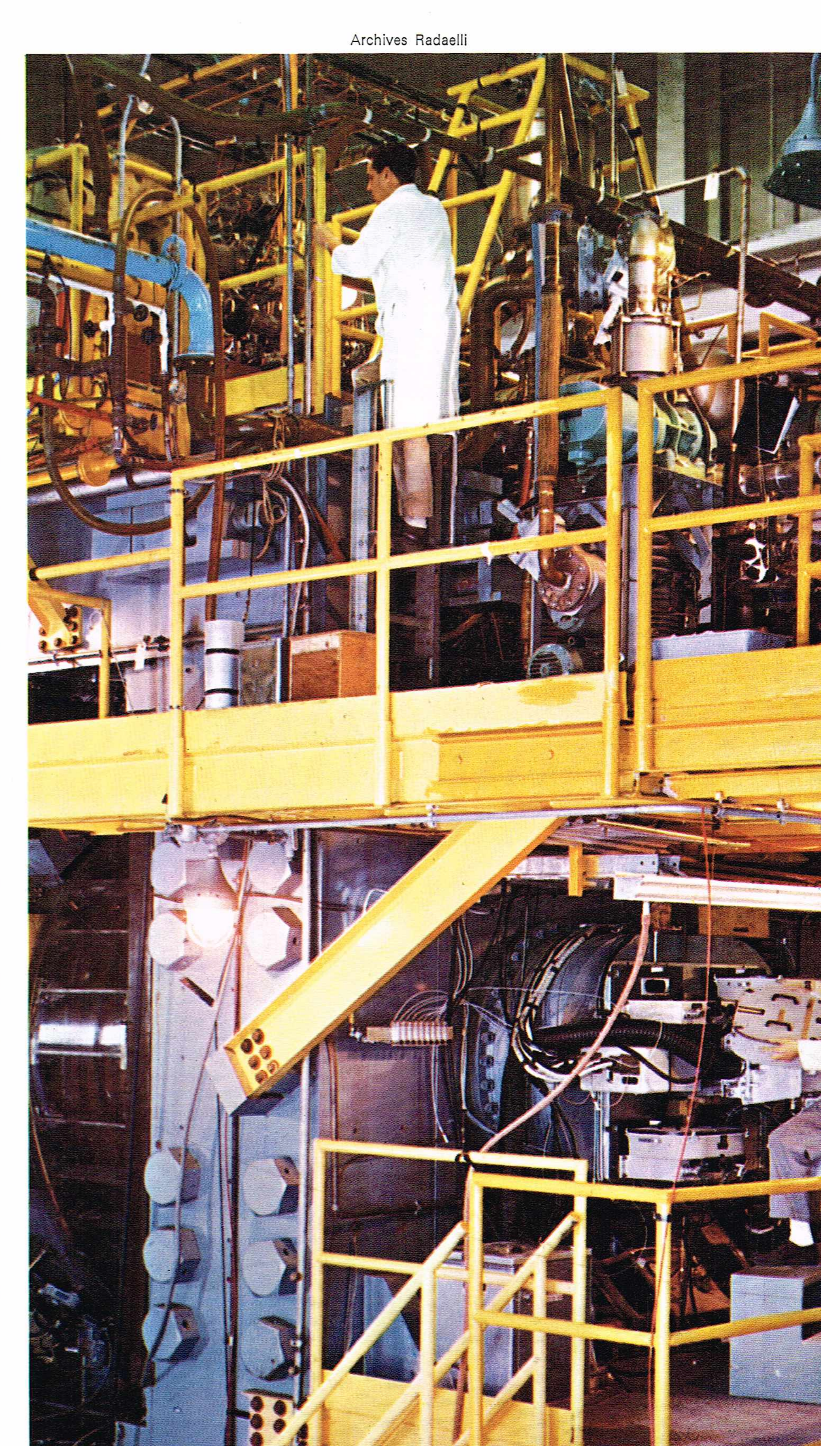
Caser

LA PHYSIQUE

L'image traditionnelle de la physique était celle d'une science strictement définie et typiquement théorique. Aujourd'hui, on ne saurait nier que la physique se développe en relations étroites avec de nombreuses inventions techniques : il en est ainsi à notre époque pour la T.S.F., la télévision, les ultra-sons, le radar, le laser, etc.
Mais les plus marquantes sont dues à la physique atomique.
Les domaines de recherche sont désormais multiples : physique nucléaire, astrophysique, électronique, supraconductivité, etc. Nous nous limiterons cependant à citer quelques réalisations récentes de grande importance.

LES PARTICULES ÉLÉMENTAIRES

Archives Radaelli



Une chambre à bulles à hydrogène.

L'intuition d'une structure discontinue de la matière remonte aux anciens Grecs et précisément à Démocrite, qui conçut les atomes comme les derniers constituants, indivisibles, de la matière. Hypothèse philosophique au moment où elle fut formulée (Ve siècle av. J.-C.), elle ne reçut sa confirmation scientifique que bien des siècles plus tard, avec l'apparition et le développement de la chimie comme science. Dès le siècle dernier, on sait que l'atome est la plus petite unité d'un élément, qu'il possède à peu près les mêmes dimensions pour tous les éléments et qu'un ensemble d'atomes identiques ou différents constitue une molécule, celle-ci étant à son tour l'élément de base de toute substance. Mais on devait bientôt découvrir que l'atome lui-même est constitué d'électrons et de protons. Ces particules furent alors considérées comme les éléments indivisibles de la matière.

*L'*électron*, découvert à la fin du siècle dernier comme constituant commun des atomes, fournissait l'élément de liaison entre atomes de substances différentes ; le nombre d'électrons présents dans un atome rendait compte des propriétés chimiques de l'élément. La structure atomique a été mise en évidence par une brillante expérience de Rutherford (1911). Celui-ci conclut que l'atome est constitué d'un centre matériel lourd, appelé* noyau*, autour duquel gravitent les électrons. Ce système est comparable à un système planétaire en miniature, dont les équations, énoncées un an plus tard par Bohr, constituèrent le point de départ de la mécanique quantique. Le noyau de l'atome le plus léger fut appelé* proton*. Les valeurs de la charge* e *et de la masse* m *de l'électron furent mesurées par J.J. Thomson en 1897. En étudiant les rayons cathodiques, Thomson découvrit que ceux-ci étaient constitués de particules chargées négativement, qu'il appela* électrons*. La mesure de leur charge et de leur masse, ou mieux du rapport* e/m*, fut réalisée grâce à l'étude des déviations que ces particules subissent sous l'action d'un champ électrique et d'un champ magnétique.*

En effet, un champ électrique dévie ou accélère les électrons. Sous l'action d'un champ électrique, donc d'une tension dite accélératrice, les électrons acquièrent une vitesse v *liée à la tension* U *par la relation*

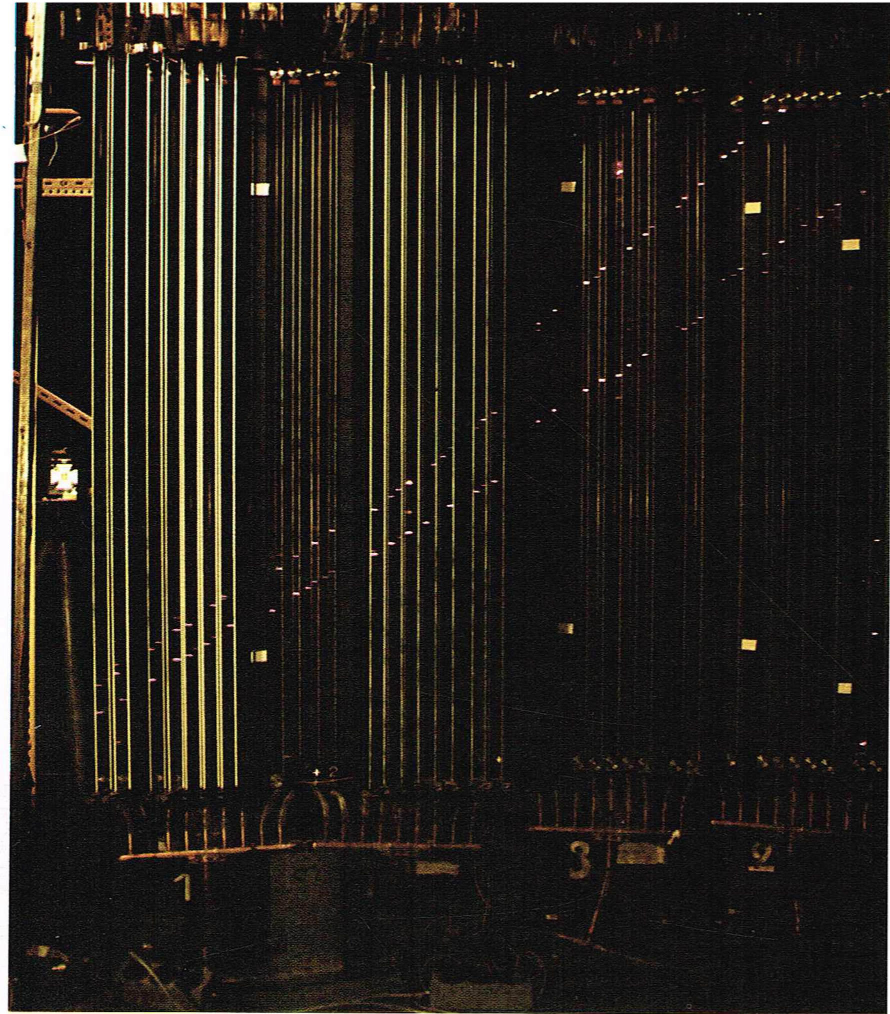
$$eU = \frac{1}{2} mv^2 \qquad (1)$$

On peut alors dévier la trajectoire des électrons par un autre champ électrique E *perpendiculaire au premier. Et, en appliquant un champ magnétique* B *dirigé perpendiculairement au champ* E*, on peut annuler la déviation produite par ce dernier. L'application simultanée des deux champs conduit à l'équilibre des deux forces, électrique et magnétique, c'est-à-dire* $e \cdot E = B \cdot e \cdot v$*. Cette relation permet de calculer la vitesse* v *nécessaire pour obtenir une trajectoire rectiligne,* $v = \frac{E}{B}$*. Donc* E *et* B *étant connus on peut obtenir la vitesse* v *et enfin à partir de la relation (1), le rapport* $\frac{e}{m} = \frac{E}{2\,U \cdot B^2}$*.*

Les valeurs obtenues par Thomson ne sont pas très éloignées de celles, plus précises, mesurées aujourd'hui.

$$\frac{e}{m} = (1{,}759\,2 \pm 0{,}005)\ 10^7 \text{ u.e.m.}$$

Thomson tenta aussi de mesurer directement la charge électrique en faisant condenser la vapeur d'eau sur les ions de manière à obtenir un nuage, dont il déterminait la charge électrique. Mais pour avoir une mesure précise



Archives Radaelli

Expérience sur les neutrinos, effectuée au CERN à l'aide d'un système de chambre à étincelles.

de la charge de l'électron, il faudra attendre les expériences effectuées par Millikan entre 1909 et 1917 ; celui-ci obtint une valeur assez précise :

$$e = (4{,}802\,5 \pm 0{,}000\,4)\ 10^{10}\ \text{u.e.s.}$$

Dans cette mesure, l'erreur la plus forte est liée à l'erreur avec laquelle est connu le coefficient η de viscosité de l'air.

LA DÉCOUVERTE DU NEUTRON ET DU POSITON

Ainsi, il y a cinquante ans, on ne connaissait que deux particules élémentaires et l'idée que toute la matière de l'univers fût constituée par ces deux seules particules était fortement séduisante, en dépit du fait qu'on s'expliquait difficilement pourquoi le proton était beaucoup plus lourd que l'électron.

La découverte du neutron, *c'est-à-dire d'une particule électriquement neutre, découverte réalisée en 1932 par le physicien anglais Chadwick, fut accueillie avec un grand enthousiasme par les physiciens et les chimistes de l'époque, car cette particule, ou mieux, son existence réelle, permettait d'élucider complètement la structure atomique des éléments et justifiait la valeur élevée des poids atomiques de certaines substances. On savait désormais qu'en bombardant une cible constituée par le béryllium avec des particules alpha de la radio-activité naturelle, on obtenait un rayonnement ionisant capable d'expulser des protons des substances hydrogénées frappées par le rayonnement. Pour en déterminer la nature et l'énergie, Chadwick mit au point une expérience dans laquelle il se servait de plutonium radio-actif comme source de particules alpha ; dans ces conditions, la cible de béryllium émettait un rayonnement inconnu, que Chadwick étudia à travers les effets que ce dernier provoquait à son tour sur une cible de paraffine. En mesurant l'énergie des protons émis par la paraffine, on peut remonter à l'énergie du rayonnement incident. En posant le principe de la conservation de l'énergie dans les deux réactions séparément, Chadwick parvint à la conclusion que le béryllium émettait une particule matérielle. Il répéta l'expérience avec d'autres matériaux et observa l'émission d'atomes de recul, dont il mesura l'énergie. En comparant la vitesse des protons émis par la paraffine avec celle des atomes de recul d'azote, il obtint une première estimation de la valeur de la masse du neutron par rapport à la masse du proton. En effet, le rapport entre les vitesses est donné par* $\frac{v_p}{v_n} = \frac{M + 14}{M + 1} = 7$ *d'où l'on obtient* $M = 1{,}15$. *Ainsi le neutron venait s'ajouter au nombre des particules élémentaires connues jusqu'alors. Mais au cours de cette même année 1932, Anderson découvrit une autre particule, de masse égale à celle de l'électron et de charge positive. Cette découverte confirma la thèse du physicien Dirac, qui, dès 1926, en avait prévu l'existence ; dans sa théorie, Dirac tenait compte aussi bien de la physique relativiste que de la mécanique quantique. Ce qui rendait difficile l'acceptation d'une telle théorie était l'hypothèse qu'elle postulait, selon laquelle à chaque particule correspond une « antiparticule », de charge égale et de signe opposé. On comprend donc tout l'intérêt que suscita l'observation expérimentale d'Anderson, qui révélait l'antiparticule de l'électron, c'est-à-dire l'*électron positif *ou* positon. *En fait, la théorie de Dirac prévoyait une antiparticule même pour le proton, mais l'existence de* l'antiproton *ne devait être mise en évidence que bien des années plus tard, précisément en 1955, par un groupe de physiciens américains, parmi lesquels Emilio Segrè, d'origine italienne.*

MÉSON, PION ET « RÉSONANCES »

Vers le milieu du XIXe siècle, les savants avaient renoncé à l'idée d'une force de contact et l'avaient remplacée par celle d' « action à distance », et donc par la notion de champ de forces. La théorie quantique avait expliqué les forces électriques et magnétiques par un échange incessant de photons, qui sont les quanta du champ électromagnétique. On ne savait rien sur la force très énergique qui maintient assemblés dans le noyau les protons et les neutrons. Yukawa imagina que cette force pouvait provenir d'une nouvelle particule faisant l'objet d'un échange continu entre les neutrons et les protons du noyau. Cette notion de force d'échange pourrait être illustrée par la comparaison avec deux chiens qui se disputent le même os. Celui-ci est saisi alternativement par l'un et l'autre, les deux chiens restant ainsi indissolublement liés. La particule responsable de cette force devait avoir une masse intermédiaire entre celle du proton et celle de l'électron ; elle fut donc appelée méson. *Nous savons aujourd'hui que cette particule est définie comme le quantum du champ nucléaire, qu'elle existe et qu'elle a été observée expérimentalement pour la première fois en 1947 par les physiciens Lattes, Occhialini et Powell lors de l'étude du rayonnement cosmique. Ils l'appelèrent méson π ou* pion *et purent en mesurer avec précision la masse, qui est égale à 273 fois la masse de l'électron.*

L'étude sur le rayonnement cosmique avait fourni, dans les années postérieures à 1930, la principale source pour l'analyse des particules élémentaires. Aujourd'hui on en connaît un si grand nombre que l'on préfère supprimer le qualificatif « élémentaires ». En outre, on a observé que certaines de ces particules sont stables, tandis que d'autres se désintègrent en un temps plus ou moins court. On connaît aujourd'hui tout un ensemble de particules à vie très courte, que l'on appelle « résonances ». La première particule de ce type fut observée par Enrico Fermi alors qu'il étudiait l'évolution de la section de choc, c'est-à-dire la probabilité d'interaction entre un méson π et un proton en fonction de l'énergie de la particule incidente. Le méson et le proton s'unissent pour former presque une particule de masse fixe (N^**). Après cette première particule, on découvrit un nombre incalculable de résonances semblables, ce qui donna naissance au problème, toujours actuel, de leur classification. L'étude des désintégrations et des interactions des différentes particules a ouvert un domaine nouveau dans la recherche de la structure ultime de la matière. Une analyse systématique n'a été possible que grâce à l'avènement des accélérateurs de particules, qui fournissent en abondance la matière première.*

LES ACCÉLÉRATEURS DE PARTICULES

La découverte de la radioactivité naturelle allait permettre d'étudier la structure de l'atome. En effet, pour étudier le noyau de l'atome, il n'est pas possible d'employer la lumière visible, mais il faut utiliser un rayonnement de longueur d'onde beaucoup plus courte. Les substances radioactives émettent un rayonnement dont la longueur d'onde λ a été déterminée par de Broglie; cette relation s'exprime sous la forme : $\lambda = h/p$, où h est la constante de Planck et p la quantité de mouvement de la particule considérée. En 1919, Rutherford réalisa la première réaction nucléaire dans l'expérience suivante : sous l'action des particules provenant d'une source radioactive naturelle de polonium, un atome d'azote se transforme en oxygène avec libération d'un proton observé grâce à la scintillation produite sur un écran fluorescent, selon la réaction : $N_7^{14} + He_2^4 \rightarrow O_8^{17} +$ proton.

On sait que les particules émises par les sources naturelles ont des énergies bien déterminées mais peu élevées. Il était logique de se demander quels seraient les effets si on disposait d'un projectile ayant une énergie supérieure. C'est ainsi que les physiciens entreprirent d'étudier les moyens permettant d'accélérer les particules observées dans la radioactivité naturelle afin d'étudier les effets produits par leurs collisions. Entre-temps, les savants avaient découvert le rayonnement cosmique; pendant longtemps, les recherches tendant à obtenir des particules d'énergie très élevée demeurèrent liées à l'étude du rayonnement cosmique. Mais les particules provenant de l'espace sont peu nombreuses, d'énergie très variable et, surtout, présentent d'importantes modifications (durée de vie limitée). Pour une étude systématique des collisions entre particules et matière, il était nécessaire d'en disposer d'un nombre élevé, douées toutes de la même énergie. C'est ainsi que naquirent les premiers accélérateurs, beaucoup plus simples que les appareils d'aujourd'hui. On songea tout d'abord à plonger dans un champ électrique, les particules ionisées fournies par la nature. L'accélération résultante γ est fonction du champ électrique E, de la charge q et de la masse m de la particule; la formule s'exprime :

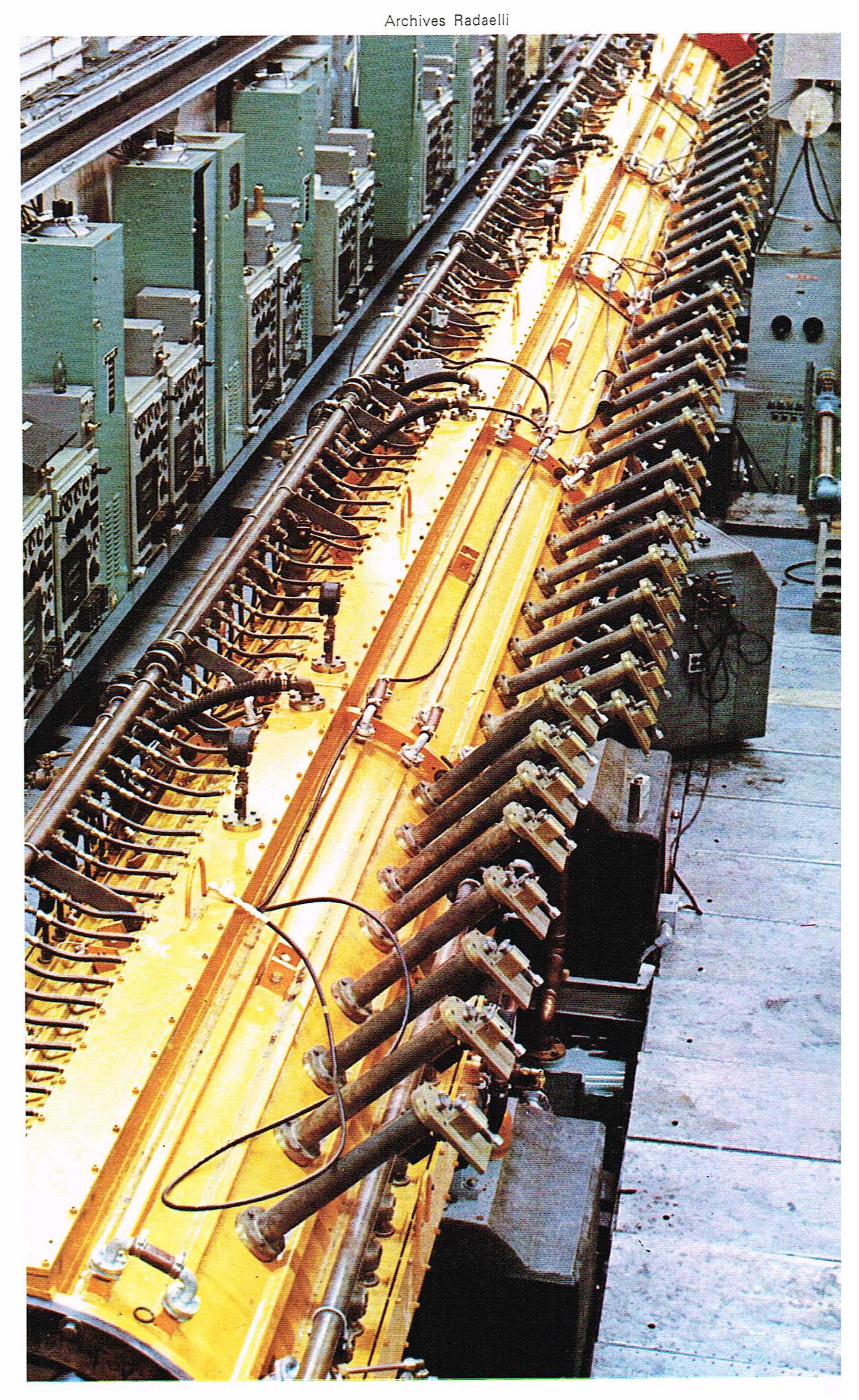
$$\gamma = q \cdot E/m.$$

L'exemple le plus simple d'accélérateurs est constitué par le tube à rayons X, construit par Crookes en 1895. Il s'agit d'une ampoule de verre dans laquelle on a pratiqué le vide, contenant deux électrodes métalliques; l'une, la cathode, émet des électrons par effet thermo-électronique. Les deux électrodes étant reliées aux pôles d'une source de haute tension, les électrons émis sont repoussés par la cathode (pôle négatif) et attirés par l'anode (pôle positif) sous l'effet du champ électrique. Plus la tension appliquée entre anode et cathode est élevée, plus grande sera la vitesse acquise par les électrons. Pour calculer leur énergie cinétique, il suffit de se rappeler la relation $e \cdot V = \frac{1}{2} mv^2$ où m est la masse de la particule (électron), v sa vitesse, V la tension appliquée et e la charge électrique de l'électron. Si, par exemple, la différence de potentiel dans le tube est de 10 kV, les électrons auront une vitesse de

$$6 \cdot 10^9 \text{ cm/s}.$$

On adopte un système d'unités pratique en se référant directement à l'énergie de la particule : l'unité d'énergie choisie est l'électron-volt (eV), qui correspond à l'énergie acquise par une particule ayant la charge d'un électron lorsqu'elle est accélérée sous une tension de un volt. Cette unité est égale à $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ joule; on emploie surtout ses multiples, qui sont le keV = 10^3 eV, le MeV = 10^6 eV et le GeV = 10^9 eV (ou BeV).

Archives Radaelli



L'accélérateur linéaire de Brookhaven (U. S. A.).

L'ACCÉLÉRATEUR DE COCKCROFT-WALTON

Le premier accélérateur digne de ce nom est entré en service en 1932 ; il est dû à Cockcroft et Walton. Puisqu'il n'existe pas dans la nature de protons rapides, les chercheurs réalisèrent l'accélération des protons produits en laboratoire, suivant le même principe que l'accélération des électrons dans le tube à rayons X. On applique une différence de potentiel entre deux électrodes et les particules ionisées subissent alors une accélération directement proportionnelle à la tension appliquée. Surgit donc le problème de construire des générateurs de tensions particulièrement élevées et d'un emploi aisé. L'appareil doté de ces propriétés fut conçu et construit par Robert Van de Graaff à l'université de Princeton, vers 1930. Cockcroft et Walton réussirent à surmonter la difficulté qui consistait à obtenir une tension continue élevée, en réalisant un multiplicateur de tension, constitué d'un réseau de redresseurs et de condensateurs convenablement reliés. Ainsi la tension totale à la sortie était beaucoup plus élevée que celle provenant du transformateur d'alimentation.

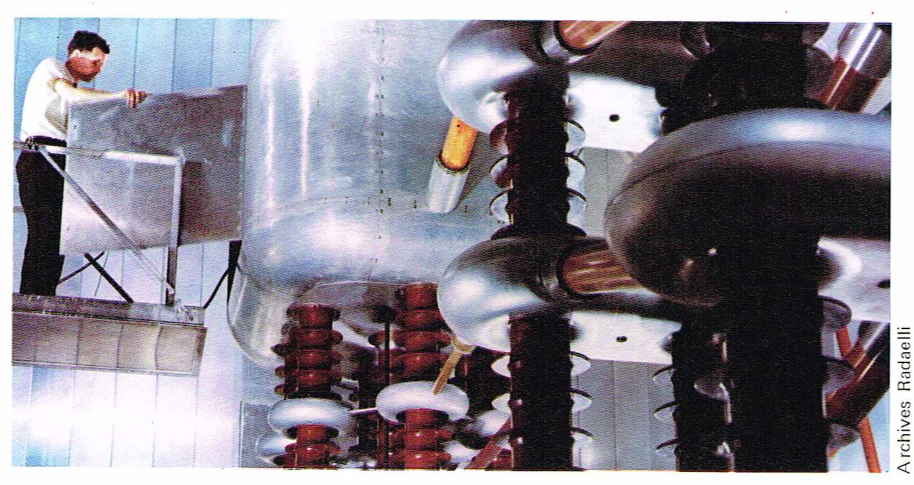
En 1932, l'accélérateur des deux physiciens anglais entra en service : des protons provenant d'une source d'ions étaient accélérés sous un potentiel de 700 kV en acquérant ainsi une vitesse correspondant à une énergie cinétique de 700 keV. Cette énergie étant suffisante pour provoquer une réaction nucléaire, ces deux savants furent les premiers à obtenir une fission nucléaire artificielle. En effet, le noyau de lithium constituant la cible fut scindé en deux noyaux d'hélium, libérant globalement une énergie de 17 MeV.

Aucune limite ne semblait exister au potentiel applicable ; mais, lorsqu'on tenta d'augmenter la tension au-dessus de 4-5 millions de volts, il se produisit des décharges prématurées, qui, en abaissant brusquement la tension, rendirent impossible le fonctionnement de l'appareil. Un autre inconvénient résidait dans la difficulté de réaliser un isolement satisfaisant des condensateurs, isolement nécessaire pour atteindre des potentiels plus élevés. On songea alors à accélérer les particules par étapes successives plutôt que d'un seul coup, cette dernière solution exigeant une tension trop élevée. Avec un tel système, chaque accélération requiert une tension moindre, ce qui permet de surmonter les difficultés techniques rencontrées précédemment.

LA NOTION D'ACCÉLÉRATIONS SUCCESSIVES

Pour rendre compréhensible la notion d'« accélérations successives », on peut comparer la particule ionisée qui traverse un certain champ électrique à une bille roulant le long d'un plan incliné : plus la dénivellation entre le départ et l'arrivée est grande, plus la vitesse acquise par la bille sera élevée. Si nous divisons la piste en plusieurs sections, nous pouvons imprimer à la bille des accélérations répétées. Mais, l'accélération totale que la bille peut subir reste étroitement limitée par la dénivellation totale de la piste. Une division de la piste avec dénivellations puis remontées ne procure aucun avantage, puisque les montées ralentissent de nouveau la bille, dont la vitesse finale dépend encore de la dénivellation totale. En revanche, si on dispose d'une piste mobile, c'est-à-dire constituée par plusieurs sections horizontales susceptibles de s'élever et de s'abaisser rythmiquement, on obtient un gain important d'efficacité. En effet, la bille se déplace toujours soit en descente, soit horizontalement. Pendant son mouvement horizontal, la section correspondante s'élève tandis que la section horizontale suivante s'abaisse : la bille passe ainsi d'une section à la suivante toujours en descendant et peut par conséquent être accélérée d'une manière continue. Elle est remontée à nouveau par le déplacement de la section horizontale tout entière et donc sans perte d'énergie cinétique. La hauteur de la piste correspond à la tension appliquée et les sections mobiles à des électrodes dont la tension varie rythmiquement, ce qui s'obtient au moyen de générateurs de tensions alternatives. Pour que le système fonctionne réellement, il faut réaliser une synchronisation entre le déplacement de la bille et le mouvement des sections : si toutes les sections s'élèvent et s'abaissent selon le même rythme, la bille doit demeurer le même temps dans chaque section. Puisque la bille voit sa vitesse augmentée pendant son parcours, il faut prévoir des sections proportionnellement plus longues. La construction d'un dispositif fonctionnant selon ce principe supposait la solution de deux types de difficultés : imposer à tout le système de conserver le rythme correct et faire en sorte que la bille débute sa course au moment opportun ; ces difficultés furent surmontées et on aboutit à l'accélérateur linéaire ou linac. La technique de cet accélérateur à impulsions a été appliquée avec succès aux électrons et aux protons, et il semblait qu'il n'y aurait pas de limites à l'énergie réalisable par ce dispositif. Cependant, pour atteindre des énergies très élevées, il faut disposer d'accélérateurs de plus en plus longs, ce qui crée des problèmes techniques et des difficultés liées à l'encombrement de l'appareil.

Détail de l'accélérateur de Cockcroft-Walton.



Archives Radaelli

LE CYCLOTRON DE LAWRENCE

Pendant que Cockcroft et Walton réalisaient l'accélération de particules selon un parcours rectiligne, Lawrence, en 1929, proposa un accélérateur à parcours circulaire. Ce fut le premier appareil qui réussit à accélérer des particules lourdes (énergie acquise 20-30 MeV). Le cyclotron fonctionne selon le principe qu'une particule de masse m et de charge e qui se déplace dans un champ magnétique B à la vitesse v normale à ce champ décrit un cercle de rayon r tel qu'il existe un équilibre entre la force de Lorentz due au champ magnétique et la force centrifuge. A ce système est applicable la relation $e \cdot v \cdot B = m\frac{v^2}{r}$, *que l'on peut également écrire* $\frac{B \cdot e}{m} = \frac{v}{r} = \omega$ *(ω : vitesse angulaire). Si le champ magnétique est constant, si la masse et la charge des particules demeurent constantes, la vitesse angulaire ω sera, elle aussi, constante et indépendante du rayon et de la vitesse des particules. Il s'ensuit que, si la vitesse v augmente, le rayon r de l'orbite augmentera proportionnellement, tandis que le temps nécessaire pour décrire une orbite restera constant. Lawrence eut l'idée de placer entre les pôles d'un électro-aimant deux électrodes creuses en forme de D, mises dos à dos, auxquelles il appliqua une tension alternative. La particule émise par une source, au centre, parcourt un demi-cercle dans le premier D, puis est accélérée sous l'action du champ électrique agissant entre les deux D et parcourt alors un autre demi-cercle de rayon légèrement plus grand. A chaque passage entre les deux électrodes, elle reçoit une impulsion et se déplace donc toujours plus rapidement, en décrivant une spirale s'élargissant vers l'extérieur.*

Après les premières réalisations expérimentales du cyclotron, on se rendit compte qu'une limite existait à l'augmentation de l'énergie, due à la variation de la masse des particules accélérées, conformément aux principes de la physique relativiste.

Aujourd'hui, on a vaincu cette difficulté et on est capable d'obtenir, à l'aide de synchro-cyclotrons, des énergies qui paraissent fabuleuses, de l'ordre de 30 GeV. Mais on songe déjà à la construction d'accélérateurs capables d'atteindre des énergies de 300 GeV, afin de vérifier les théories sur les interactions des particules à très haute énergie.

LES RÉACTEURS NUCLÉAIRES

Les réacteurs nucléaires sont les sources d'énergie caractéristiques de l'ère atomique. Le début de cette ère nouvelle se situe au 2 décembre 1942, lorsque Enrico Fermi réalisa la première réaction nucléaire en chaîne contrôlée en utilisant une pile atomique, prototype des réacteurs nucléaires. L'énergie atomique puise sa source dans les forces qui maintiennent, assemblés dans le noyau, les protons et les neutrons ; ces forces, très considérables, sont responsables de la stabilité des noyaux. La masse d'un noyau, composée de neutrons et de protons, devrait être égale à la somme des masses de ses différentes particules. Puisque cela ne se vérifie pas, il s'ensuit que le défaut de masse est compensé par une certaine énergie, d'après l'équation d'Einstein $E = mc^2$. *En effet, la formation d'un atome lourd à partir de deux atomes légers donne lieu à une libération d'énergie. Ce processus, appelé* fusion, *se produit de manière habituelle dans le Soleil et les autres étoiles. De manière analogue, lorsqu'on provoque la désintégration artificielle de certains atomes lourds, on aboutit à la formation d'éléments plus légers, processus qui s'accompagne aussi d'une libération d'énergie.*

Ce phénomène, appelé fission, *se produit lorsqu'on fournit au noyau une énergie d'excitation suffisante pour vaincre les forces d'attraction et donner naissance à deux noyaux distincts. L'énergie critique de fission peut être formée, par exemple, par l'absorption d'un neutron de la part du noyau ; l'interaction entre le neutron et le noyau dépend de l'énergie des neutrons et de l'élément lui-même. Lorsqu'une fission se produit dans une certaine masse de matériaux fissiles, tous les neutrons émis sont à leur tour capturés par d'autres noyaux, ce qui donne lieu à la libération d'autres neutrons. Leur nombre croît à l'infini et le processus prend le nom de réaction en chaîne. Si le phénomène se produit sans contrôle, on aboutit à une explosion nucléaire ; en revanche, dans un réacteur, le phénomène est contrôlé et maintenu à l'intérieur des limites voulues. Mais, en pratique, il y a toujours une certaine perte de neutrons, qui ne donnent pas lieu à fission ; si les pertes sont élevées, la réaction en chaîne ne peut pas se produire. Elles sont dues généralement à une fuite de neutrons hors du système ou à leur capture soit par le matériau fissile, soit par des impuretés. Pour réaliser une réaction en chaîne auto-entretenue dans un système donné, il faut prendre en considération : 1) les dimensions du système, qui déterminent les pertes de neutrons à sa périphérie ; 2) les impuretés présentes ; 3) la répartition des énergies neutroniques ; 4) la variation des sections de choc du matériau fissile avec l'énergie des neutrons, de manière à pouvoir déterminer la probabilité de fission et d'autres réactions.*

RÉACTEURS RAPIDES ET RÉACTEURS THERMIQUES

Les réacteurs sont caractérisés par le combustible, *le* réfrigérant *et le* modérateur *qu'ils utilisent. Le combustible peut être constitué soit par l'uranium naturel, soit par l'uranium enrichi en son isotope* ^{235}U *ou en plutonium. La chaleur engendrée par un réacteur est dissipée par un réfrigérant, qui circule dans le cœur du réacteur. La répartition de la chaleur décroît axialement et radialement depuis le centre ; sa production se poursuit même après l'arrêt du fonctionnement et ce phénomène est dû au processus de désintégration radio-active des produits de fission. Comme réfrigérant, on peut utiliser l'eau tant sous pression que bouillante, l'eau lourde, les gaz présentant, en raison de leur faible densité, une section de choc d'absorption petite, des liquides organiques ou des métaux à l'état liquide. Lorsqu'on fait fonctionner un réacteur, l'uranium s'échauffe et il devient donc nécessaire de le chemiser pour éviter qu'il*

Archives Radaelli

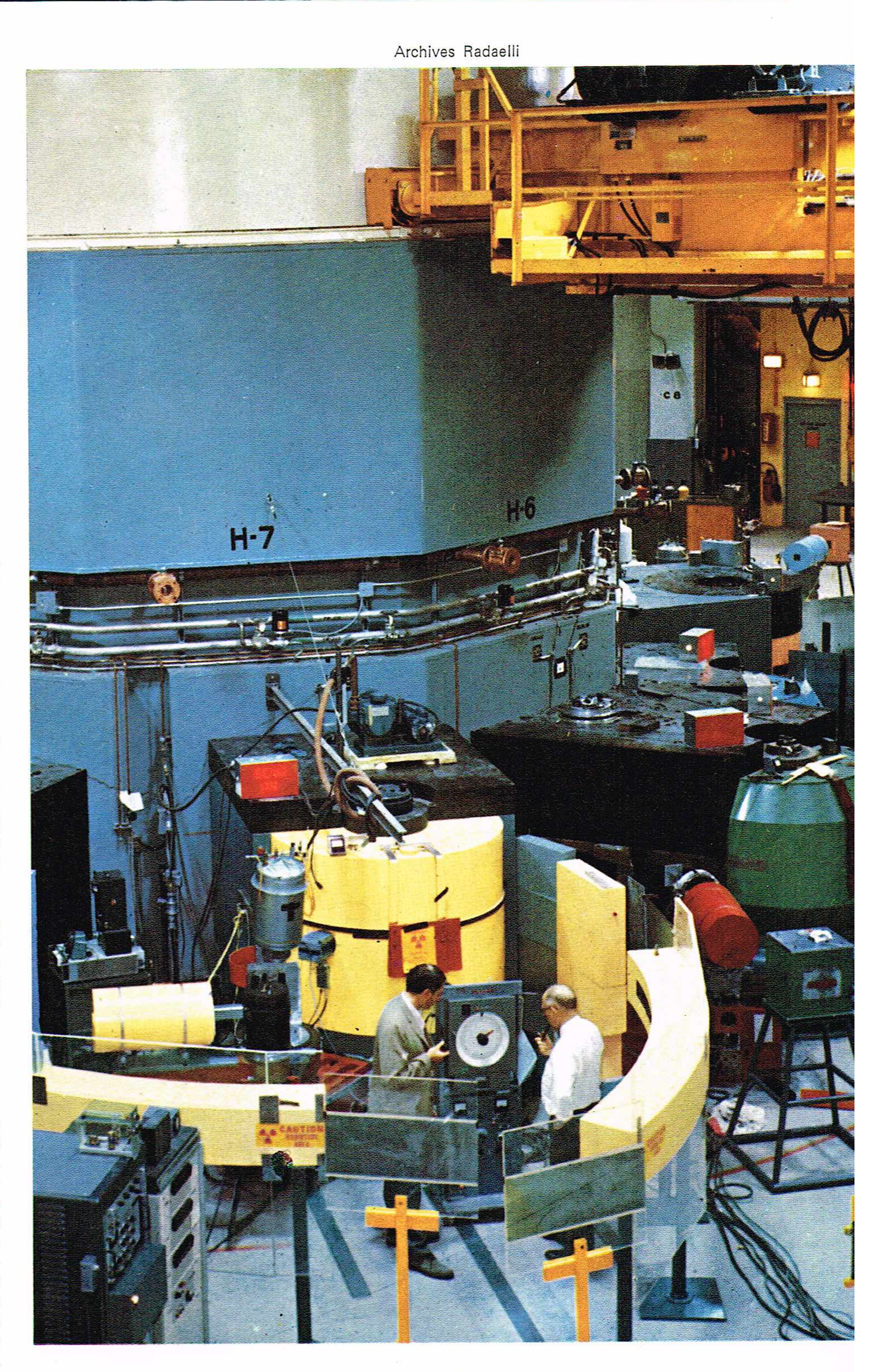
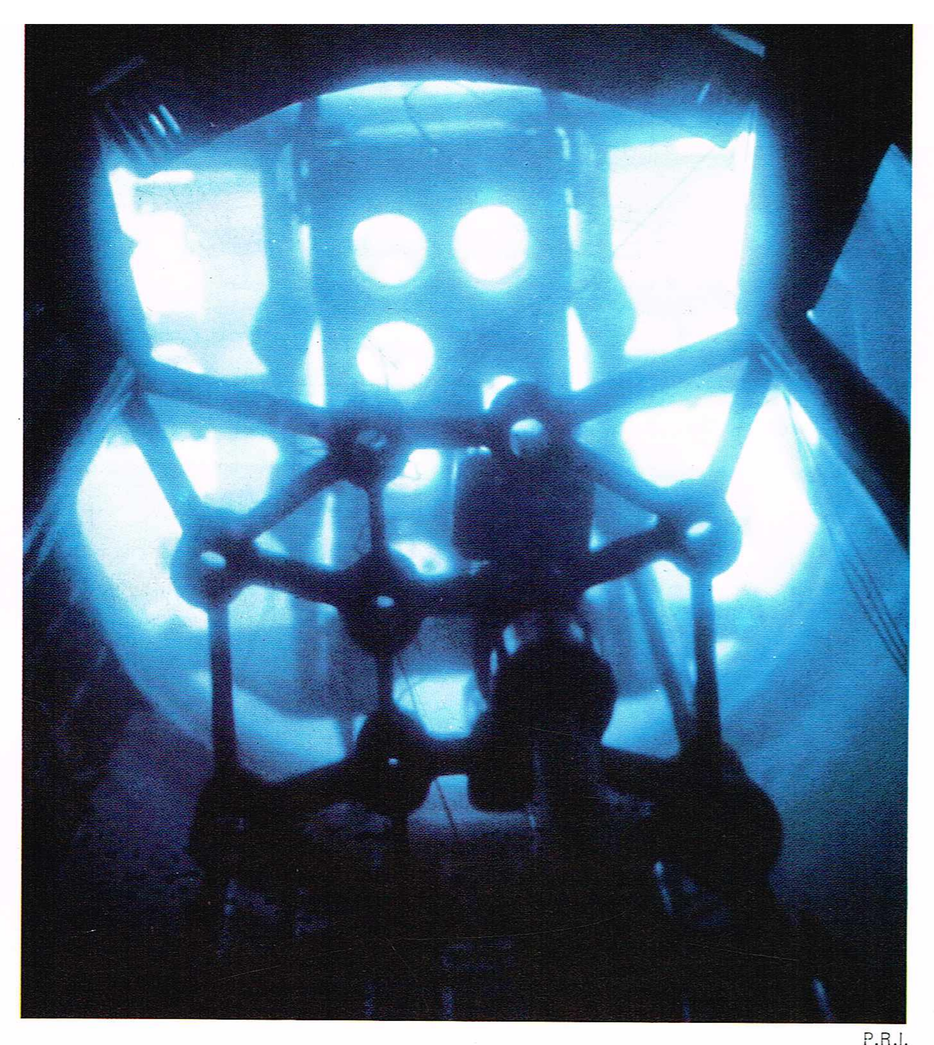


Plate-forme expérimentale du réacteur de recherche HFBR (high flux beam research reactor) du laboratoire de Brookhaven.



P.R.I.
Cœur du réacteur à piscine d'Oak Ridge (Tennessee).

réagisse chimiquement avec le réfrigérant et aussi pour empêcher que les produits de fission qui se forment à la surface de l'uranium finissent, à cause de leur énergie cinétique, dans le fluide réfrigérant, en le rendant radio-actif. A cette fin, on peut utiliser l'aluminium, le magnésium, le zirconium ou le béryllium.

Les réacteurs se distinguent en rapides *ou* thermiques *suivant l'énergie d'un neutron. Dans les premiers, la réaction en chaîne est entretenue par les neutrons rapides libérés par la fission elle-même ; dans les seconds, on exploite la propriété que possède le* ^{235}U *de subir plus facilement la fission sous l'action des neutrons lents que des neutrons rapides. On introduit alors des substances (modérateurs) qui ralentissent la vitesse des neutrons libérés. Les substances employées comme modérateurs sont l'eau, l'eau lourde, le graphite ou le béryllium. Si le combustible et le modérateur sont mélangés en solution de manière homogène, les réacteurs sont dits* homogènes *; si, en revanche, le combustible est sous forme de barres, que l'on plonge dans une cuve contenant le liquide modérateur ou dans une matrice de graphite, ils sont dits* hétérogènes.

On dit qu'un réacteur fonctionne en régime stationnaire lorsque le nombre des neutrons produits est égal au nombre des neutrons absorbés, augmentés de ceux qui s'échappent. Pour chaque neutron absorbé dans le combustible, il se libère en moyenne un neutron qui vient s'ajouter à ceux perdus par le réacteur. Soit P *la probabilité qu'un neutron ne s'échappe pas ; dans ce cas, la condition pour que la réaction en chaîne se poursuive est* $kP = 1$*, où* k *est le facteur de multiplication des neutrons, c'est-à-dire le rapport entre les nombres de neutrons libérés par une fission et des neutrons ayant provoqué celle-ci. Si* k *est égal ou à peine supérieur à l'unité, la réaction en chaîne est possible, si* k *est inférieur même de peu à l'unité, la réaction s'épuise. La valeur de* k *est déterminée par la nature du combustible, les proportions du modérateur et même la disposition du matériau. Pour un réacteur de dimensions finies, la probabilité* P *est inférieure à l'unité et donc, pour que la réaction en chaîne se poursuive, il est nécessaire que* P *soit supérieur d'une valeur minime et* k *supérieur à 1. Les neutrons s'échappent vers l'extérieur, mais l'absorption qui conduit à la fission et à la production de neutrons se produit à l'intérieur du réacteur. Le nombre de neutrons perdus dépend donc de la surface externe, tandis que le nombre de neutrons libérés dépend du volume. Pour réduire les pertes au minimum, il est nécessaire de diminuer le rapport entre la surface et le volume ; cela peut s'obtenir en augmentant les dimensions du réacteur. La dimension critique est celle pour laquelle la probabilité* P *a une valeur suffisante pour que le produit* kP *soit égal à l'unité. Puisque le rapport entre la surface et le volume dépend de la forme géométrique, la probabilité* P *sera déterminée par la forme du réacteur. Pour un volume donné, c'est la sphère qui présente le rapport minimal entre surface et volume ; donc, c'est dans un réacteur sphérique qu'on aura les pertes les plus faibles. On peut diminuer la perte de neutrons en entourant le réacteur d'un* réflecteur *convenable, c'est-à-dire d'un matériau (en général le même que celui du générateur) renvoyant au réacteur une partie des neutrons qui s'échappent. Le facteur* k *dépend aussi du combustible et du modérateur ; c'est pourquoi, une fois fixée la forme géométrique, les dimensions critiques ne sont pas constantes, mais varient avec la nature et la structure du système combustible-modérateur. Par exemple,* k *augmente lorsqu'on emploie un combustible enrichi ; par conséquent, les dimensions critiques d'un réacteur à uranium enrichi seront plus faibles que celles d'un réacteur de forme identique mais à uranium naturel. Le produit* kP *est appelé facteur effectif de multiplication ; il représente le nombre moyen de neutrons thermiques qui demeurent dans le réacteur et sont disponibles pour l'absorption à chaque fission. La régulation de la multiplication d'un neutron dans un réacteur thermique est obtenue grâce à l'utilisation de barres de contrôle ; la densité des neutrons diminue rapidement à cause de leur capture par les barres, qui sont en cadmium ou en bore, éléments qui possèdent une grande section de choc de capture pour les neutrons lents. Pour éteindre le réacteur, on introduit les barres de contrôle afin d'absorber les neutrons en plus. Le système perd des neutrons plus rapidement qu'il ne s'en forme par fission et la réaction en chaîne s'arrête.*

RÉACTEURS DE PUISSANCE ET CONVERTISSEURS

Les réacteurs sont employés comme générateurs de chaleur et servent pour le chauffage de fluides, la production de vapeur ou même la production d'énergie électrique (dans ce cas, on les appelle réacteurs de puissance*), pour la propulsion de bateaux, d'avions et d'engins spatiaux. Par ailleurs, on peut exploiter les radiations nucléaires qu'ils produisent ; dans ce cas, ils sont employés pour des recherches scientifiques et techniques, pour la production de radio-isotopes artificiels et de matériaux fissiles. Il existe enfin un type de réacteurs dans lequel le rayonnement produit est utilisé pour la production de combustible nucléaire : on les appelle* convertisseurs ou enrichisseurs.

Le premier réacteur de puissance a été réalisé à Calder Hall, en Angleterre, et l'installation, comportant un modérateur à graphite et un réfrigérant à gaz, est entrée en service en 1956. En France, on a construit à Marcoule des réacteurs d'uranium enrichi qui concilient à la fois production d'énergie et production de matière fissile (plutonium).

L'énergie obtenue grâce aux processus de fusion est étudiée dans les machines thermonucléaires. Les réactions capables de la produire sont les réactions thermonucléaires. Dans ces conditions, la matière se trouve à l'état de plasma, quatrième état de la matière défini par la physique moderne. La première tentative (couronnée de succès) visant à produire de l'énergie au moyen d'une réaction thermonucléaire eut lieu le 1ᵉʳ novembre 1952, lorsque les savants de Los Alamos réussirent à faire exploser la première bombe thermonucléaire sur un atoll corallien de l'océan Pacifique ; ce résultat fut obtenu en comprimant et chauffant à une température d'une centaine de millions de degrés une quantité convenable d'hydrogène au moyen d'une explosion nucléaire à fission.

Les choses se compliquent pour des réactions de fusion contrôlées. En 1954, à Harwell, quelques savants songèrent à construire une machine capable d'atteindre le seuil des températures thermonucléaires et susceptible de permettre la résolution de différents problèmes, comme le chauffage, le stockage et la stabilité du combustible.

LES CENTRALES THERMONUCLÉAIRES

Lorsque, en mai 1955, la première centrale électrique nucléaire entra en service près de Moscou, on crut qu'elle marquait l'avènement des centrales électriques alimentées par un combustible nucléaire et que les centrales électriques de type conventionnel (hydro-électriques et thermo-électriques) allaient disparaître en l'espace d'une génération. Nombreux étaient ceux qui pensaient que les centrales nucléaires allaient permettre de voir baisser le prix du kilowatt-heure. Mais la réalité ne fut pas conforme à ces prévisions.

La centrale soviétique, centrale pilote de dimensions réduites et d'une puissance d'environ 5 000 kW, constitua certes un précieux terrain d'études et d'expériences pour les physiciens, les chimistes et les ingénieurs, mais elle demeura longtemps unique pour différentes raisons, dont la plus importante était le coût de production, qui ne descendit jamais au niveau prévu. En outre, les installations pour la préparation du combustible nucléaire en quantité importante exigeaient des investissements très supérieurs aux prévisions et des temps de mise en service beaucoup plus longs. Les dispositifs de contrôle automatique indispensables au fonctionnement de ces centrales, délicats et complexes, exigèrent plusieurs années d'études. Les réacteurs disponibles ne se révélèrent pas adaptés à une installation simple ou à une régulation impliquant des passages fréquents entre puissances de régime très différent. Ainsi, les spécialistes durent étudier et expérimenter des réacteurs, des systèmes de refroidissement et de régulation, des dispositifs de sécurité entièrement nouveaux. En somme, le passage de l'installation réalisée en laboratoire de la centrale pilote de faible puissance à la grande installation capable de fonctionner à un régime économiquement concurrentiel se révéla beaucoup plus long et complexe qu'on ne l'avait cru.

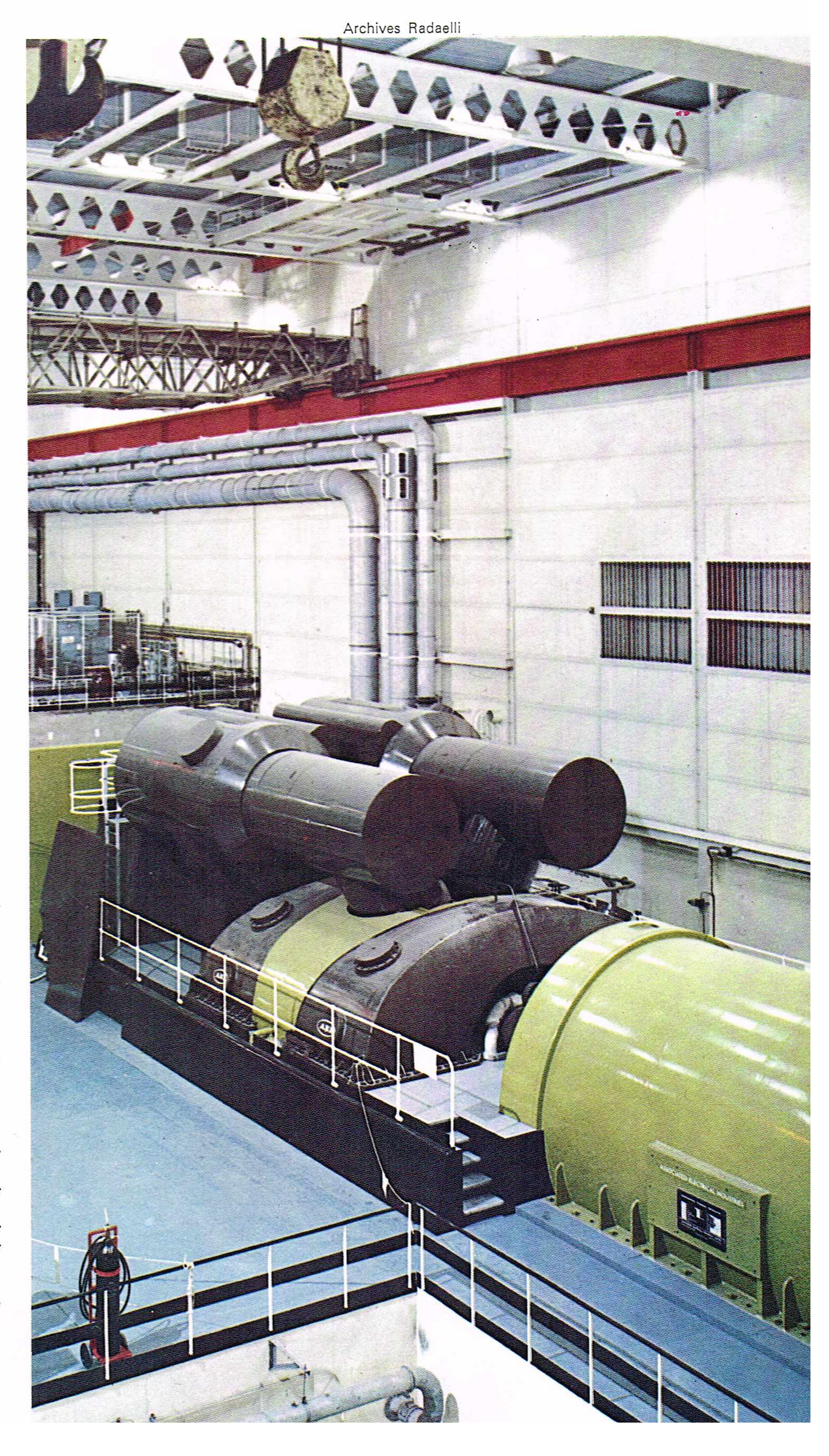
L'ACCROISSEMENT DE LA PRODUCTION CHARBONNIÈRE ET LE « BOUM » DU PÉTROLE

Dans le même temps, des éléments nouveaux influençaient la production des combustibles conventionnels. Dans les dix années qui suivirent la Seconde Guerre mondiale, on assista à une augmentation colossale de la production d'acier, provoquant une très forte demande de charbon.

L'exploitation minière connut une nouvelle impulsion, qui eut pour résultat une réduction du coût du produit et l'arrivée sur le marché d'importantes quantités de charbon dont la qualité était impropre aux emplois de la sidérurgie. En outre, un très grand nombre d'installations à charbon de moyenne et de petite puissance furent transformées dans le but d'utiliser le mazout, tandis que baissait fortement la demande en charbon par les chemins de fer, en cours d'électrification ou de « diésélisation ». Ainsi, la centrale thermique de type conventionnel, alimentée par une chaudière fonctionnant au poussier de charbon, resta vite le seul débouché du charbon.

L'expansion extraordinaire du pétrole, due à la découverte de gisements nouveaux, et au développement prodigieux de la pétrochimie, mit sur le marché des quantités croissantes d'un sous-produit à haut pouvoir calorifique, le fuel, qui trouve aujourd'hui son principal usage dans les grandes centrales thermiques. Ces deux facteurs contribuèrent de manière déterminante à ralentir la diffusion des centrales à combustible nucléaire, en dépit des progrès importants réalisés dans ce domaine.

Archives Radaelli



Salle des turbines de la centrale thermonucléaire de Winfrith (Grande-Bretagne).

LES AVANTAGES DES CENTRALES THERMONUCLÉAIRES

Actuellement, un certain équilibre s'est établi, du point de vue économique, entre centrales thermiques de type conventionnel et centrales à combustible nucléaire. Les facteurs qui militent en faveur de la centrale à fuel ou à charbon sont le coût du combustible et celui de l'installation (chaudières, turbines, installations électriques, dispositifs de régulation), dont la fabrication a bénéficié de procédés de standardisation qui en ont sensiblement abaissé le prix de revient. Mais, il faut fournir à la centrale thermique conventionnelle d'énormes quantités de combustible qu'elle brûle tous les jours. Aussi une centrale thermique doit-elle avoir une grande puissance pour être rentable et posséder des installations de très grande capacité pour son approvisionnement. Si elle fonctionne au charbon, elle consomme chaque jour le tonnage transporté par deux ou trois charbonniers (si elle est desservie par un port) ou par une vingtaine de trains de marchandises, si elle est dans l'arrière-pays, et exige d'énormes installations pour les opérations de chargement, déchargement et tri du charbon. Si elle fonctionne au fuel, les problèmes de stockage et de transport sont moins complexes mais pas moins impressionnants ; elle doit en effet posséder d'immenses réservoirs, reliés à un oléoduc ou à un port où puissent accoster des pétroliers. Les centrales qui fonctionnent au méthane ou autres combustibles gazeux doivent être munies de gazomètres et alimentées par un gazoduc. En outre, les centrales thermiques, par les fumées qu'elles dégagent et la grande quantité des sous-produits de la combustion, provoquent la pollution atmosphérique. Au contraire, la centrale nucléaire est tout à fait indépendante et entièrement « propre ». Un seul camion de tonnage moyen suffit à lui apporter le combustible qui lui permettra de fonctionner pendant plusieurs années. La centrale ne dégage ni fumée ni produit de scories d'aucune sorte ; elle n'a besoin ni d'aire de stockage ni de raccordements spéciaux aux systèmes de transport. Elle peut, par conséquent, être installée à proximité des zones où sera utilisée l'énergie produite, ce qui réduit au minimum le réseau des conducteurs électriques. Quant au danger que constituerait une centrale de ce type, celui-ci est absolument inexistant : un réacteur nucléaire ne comporte aucun danger d'explosion et même le plus grave des accidents n'aurait comme conséquence que l'arrêt des réactions en chaîne et non l'accélération de ces réactions jusqu'à l'explosion. Quant au risque de dissémination de matériaux radio-actifs, celui-ci est rendu impossible par la structure des installations ; en effet, tous les organes contenant ou pouvant contenir du matériau radio-actif sont enfermés dans des récipients métalliques ou en béton armé.

COMPÉTITIVITÉ DE LA CENTRALE NUCLÉAIRE

De nos jours, les centrales thermonucléaires coexistent avec les centrales conventionnelles ; dans certains cas elles sont compétitives sur le plan économique, dans d'autres non.

Ainsi, la Grande-Bretagne a déjà installé de nombreuses centrales nucléaires qui doivent lui permettre de faire face à ses besoins croissants en énergie. Les mines de charbon anglaises, exploitées depuis très longtemps, sont en partie épuisées, et d'un fonctionnement trop coûteux. Les sources d'approvisionnement en combustible liquide sont très éloignées des îles Britanniques, alourdissant le coût du transport. L'industrie pétrochimique est bien développée, mais une grande partie du fuel obtenu comme sous-produit des différents processus est utilisée par d'innombrables industries en voie d'expansion. Si le climat des îles Britanniques est assez humide, en revanche, les massifs montagneux sont modestes et les cours d'eau encore plus ; donc, aucune des conditions pour le développement de centrales hydro-électriques ne se trouve réunie.

Les deux principales puissances industrielles, l'Union soviétique et les États-Unis, disposent, en revanche, de ressources colossales en combustible ; les cours d'eau et les bassins immenses les incitent à développer leurs centrales hydro-électriques et thermo-électriques et à ne réaliser qu'un nombre limité de centrales nucléaires.

La France se trouve dans une situation intermédiaire entre celle de la Grande-Bretagne, qui privilégie la centrale nucléaire, et celles des États-Unis ou de l'Union soviétique, plus favorables aux centrales conventionnelles.

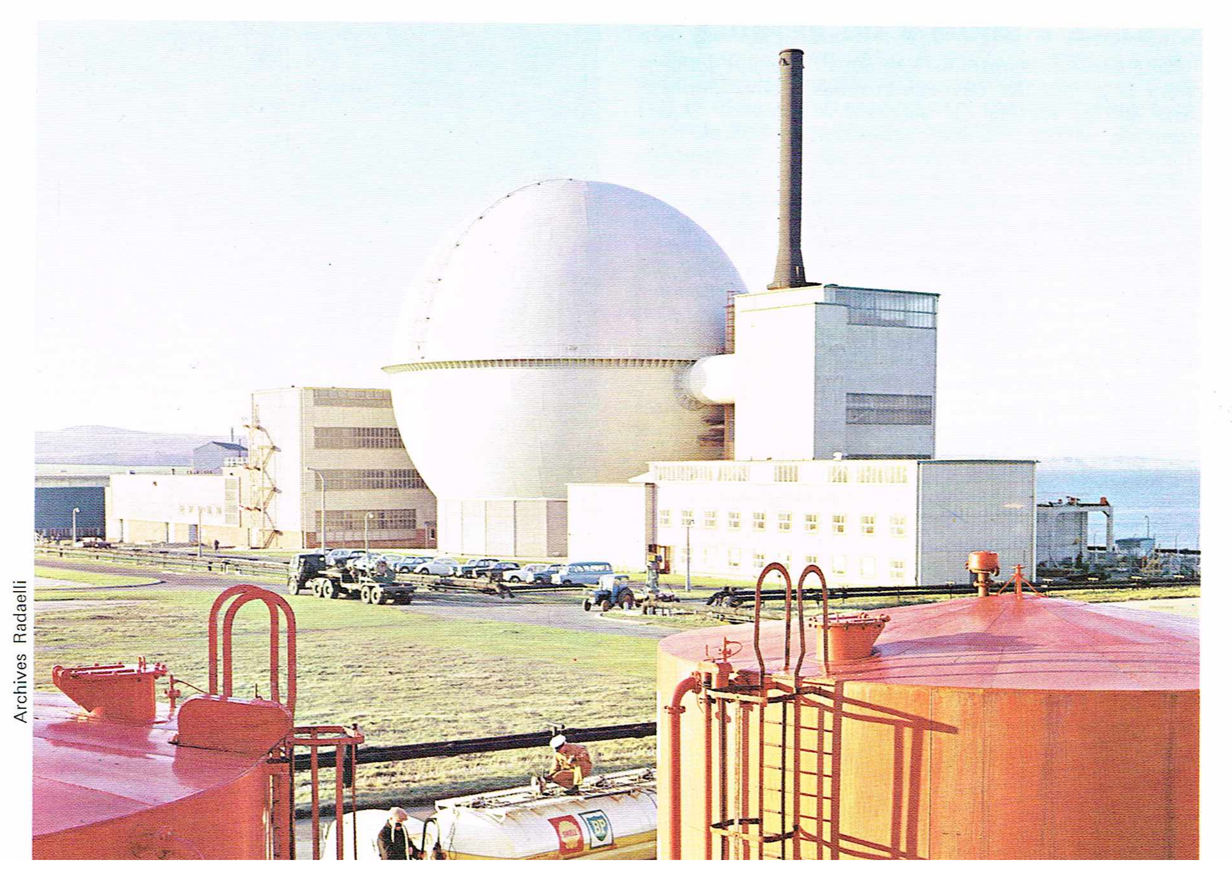
Dans notre pays, l'énergie hydro-électrique a une place importante mais insuffisante, et les sites favorables à la création de barrages sont presque tous exploités.

Quant aux importations de pétrole, la remontée des prix fait que le nucléaire devient compétitif.

Après Marcoule, Chinon, Saint-Laurent, Bugey 1, les centrales de Fessenheim en Alsace et Bugey 2 et 3 près de Lyon vont être mises en service.

Les partisans de ces centrales considèrent que « face aux puissances pétrolières, l'indépendance de l'Europe passe par le nucléaire ».

Le réacteur rapide de Dounreay (Grande-Bretagne).



Archives Radaelli

LA PROPULSION NUCLÉAIRE

En règle générale, tout système capable de fournir de l'énergie de manière contrôlée peut être utilisé pour la propulsion d'un engin mobile, qu'il soit à usage terrestre, naval, aérien ou même spatial; cependant il existe des limites techniques et économiques aux possibilités de réalisation et d'application.

En ce qui concerne les applications de l'énergie nucléaire fournie par des réacteurs, les premières limites résident dans les dimensions importantes des réacteurs nucléaires actuels par rapport à la puissance qu'ils sont capables de fournir. En d'autres termes, un réacteur, conçu comme élément de base d'un système moteur, offre un rapport poids-puissance nettement défavorable par rapport aux moteurs thermiques de type conventionnel (à explosion, à turbines à gaz, etc.). Si, dans une centrale nucléaire, cela a peu d'importance, car il s'agit alors d'installations fixes, en revanche, des difficultés sérieuses surgissent lorsqu'il faut concevoir un véhicule à propulsion nucléaire qui doit transporter une véritable centrale pour produire l'énergie nécessaire au fonctionnement du moteur proprement dit.

LE « SAVANNAH » ET LE « LÉNINE »

La propulsion nucléaire a été utilisée dans le domaine naval à des fins à la fois expérimentales et militaires. Jusqu'à ce jour, il n'existe que deux navires civils équipés d'un tel système propulseur : le Savannah *américain et le brise-glace soviétique* Lénine. *Du point de vue expérimental, l'un et l'autre représentent un remarquable succès, car ils ont permis la mise au point d'un nouveau type d'appareil propulseur, éprouvé sur une période suffisamment longue. La phase expérimentale achevée, le* Savannah *a été désarmé, son exploitation étant plus onéreuse que celle d'un bateau-cargo conventionnel. Le* Lénine *est encore en service, mais aucune autre unité de ce type n'a été construite; sa caractéristique la plus intéressante, liée précisément à son principe de propulsion, réside dans le fait que ce bateau est capable d'accomplir les parcours les plus longs sans avoir besoin de s'approvisionner en carburant, à l'inverse des brise-glace munis d'un moteur thermique traditionnel. Ces navires ont une progression très lente, puisqu'ils doivent, avec leur proue, rompre la banquise et broyer la glace; l'appareil moteur doit donc être très puissant, ce qui entraine une consommation de combustible élevée, si bien qu'ils sont suivis habituellement d'un bateau-citerne transportant du carburant pour leur approvisionnement. En revanche, le* Lénine *peut se passer de cette unité, puisqu'il n'a besoin de se réapprovisionner en combustible nucléaire que tous les deux ou trois ans.*

L'énorme autonomie que permet un système de propulsion à énergie nucléaire a conduit à envisager l'utilisation de celui-ci dans les sous-marins. On ne connaît pas exactement le nombre de sous-marins atomiques en service ou en construction, mais on possède divers renseignements sur leurs performances. Ils peuvent parcourir, sans escale, une distance de cinq à dix fois la circonférence terrestre et naviguer pendant environ deux ans. Des sous-marins américains de ce type sont passés à plusieurs reprises sous la calotte glaciaire arctique. De tels engins, dotés de missiles à moyenne portée, pouvant transporter une tête nucléaire, ont modifié la stratégie mondiale, puis qu'ils sont capables d'intervenir dans des zones très éloignées de leur base, de manière absolument imprévisible, puisqu'il est pratiquement impossible de détecter un sous-marin naviguant à une centaine de mètres de profondeur. Cependant, la mise au point de missiles balistiques intercontinentaux a rendu discutable l'utilité stratégique des sous-marins à propulsion nucléaire.

Le sous-marin à propulsion nucléaire, *Alexander Hamilton,* de la marine américaine.



Archives Radaelli

AUTRES PROJETS D'APPLICATIONS DE LA PROPULSION NUCLÉAIRE

La propulsion nucléaire terrestre posant des problèmes difficiles à résoudre, aucune réalisation de prototypes n'a été entreprise ; ils existent uniquement à l'état de projets ou de plans.

Citons un projet de convoi ferroviaire utilisant un réacteur nucléaire pour produire la vapeur destinée à actionner une turbine couplée à un alternateur, les moteurs de traction étant électriques. Ce projet prévoit une puissance à l'essieu de l'ordre de dix mille chevaux, puissance qui excède largement les besoins nécessaires en matière de chemin de fer; de plus, l'ensemble moteur occupe les deux tiers du volume global du convoi; la place disponible restante ne présente alors aucun intérêt économique.

La situation est tout à fait différente quant à l'utilisation de l'énergie nucléaire dans le domaine spatial. En effet, elle constitue une solution du plus grand intérêt, dans l'optique de l'exploration systématique de l'espace. Cependant l'image du vaisseau cosmique entraîné par des propulseurs nucléaires vers des mondes lointains appartient et appartiendra encore longtemps à la science-fiction.

Pour mouvoir un engin dans l'espace, il faut qu'une certaine quantité de matière, sous forme de gaz (ou d'ions), soit éjectée à grande vitesse par l'appareil propulseur. Pour obtenir ce résultat, il est nécessaire de produire à bord l'énergie utile pour communiquer la vitesse voulue au matériau gazeux à éjecter. L'engin spatial doit donc comporter un générateur capable de fournir cette quantité d'énergie et ce matériau. Dans la fusée à propulsion chimique, ces fonctions sont associées : le combustible et le comburant réagissent entre eux et donnent naissance à une certaine quantité d'énergie sous forme de chaleur, qui est utilisée pour accélérer et éjecter à grande vitesse les produits de combustion.

Mais, dans les missiles chimiques, il existe des limites théoriques qui ne pourront jamais être dépassées. En effet, en utilisant l'oxygène et l'hydrogène, la quantité d'énergie dégagée est de 3,59 kilocalories par gramme de « mélange » brûlé. En employant des composés du fluor, on obtient environ 4 kilocalories par gramme. Si l'on pouvait utiliser l'oxygène ou l'hydrogène non à l'état moléculaire mais à l'état atomique, on pourrait obtenir 11 kilocalories par gramme. Dans de telles conditions, la vitesse d'expulsion des gaz est relativement faible : une vitesse de 5 kilomètres/seconde semble être l'extrême limite. Il sera très difficile d'aller au-delà, car cela entraînerait, dans les chambres de combustion, des températures et des pressions incompatibles avec les structures constituant l'appareil propulseur de la fusée.

LES MOTEURS IONIQUES ET A PLASMA

On peut cependant imaginer un appareil moteur de type « physique », mû par une source d'énergie différente capable d'accélérer un flux de matière, sous forme de gaz ionisé ou de plasma, à des vitesses sensiblement supérieures. En utilisant un moteur simple, la vitesse d'éjection du gaz peut atteindre environ 20 km/s. Avec des moteurs plus complexes, il est possible d'augmenter davantage l'état d'ionisation du gaz chauffé et de l'accélérer à plus de cent kilomètres par seconde. Ainsi, utilisé pour la propulsion d'un engin spatial, ce moteur pourrait éjecter dans l'unité de temps, à poussée égale, une quantité de matière beaucoup plus faible qu'une fusée de type chimique. L'énergie électrique nécessaire pour chauffer, ioniser et accélérer le jet de plasma devra cependant être fournie par une centrale installée à bord, d'un poids et d'un encombrement modérés et capable de fournir une puissance importante.

Les moteurs ioniques et les moteurs à plasma sont actuellement en cours d'étude et d'expérimentation (les satellites soviétiques du type Yantar *les utilisent depuis quelques années déjà pour les changements d'orbite et d'orientation).*

Mais des difficultés technologiques limitent à environ un kilogramme la valeur de la poussée que ces moteurs sont capables de développer, pour un poids de plusieurs kilos, sans compter celui de la source d'énergie électrique. Il est donc inconcevable, pour le moment, de songer à les utiliser comme moteurs principaux d'un « navire » cosmique. Il est cependant possible de les employer comme moteurs auxiliaires, en les alimentant, éventuellement, à l'aide de batteries solaires.

Le problème, bien que complexe sur le plan de la réalisation, est théoriquement parfaitement défini. Si la propulsion chimique se heurte à certaines limites, il ne semble pas impossible de réaliser dans l'avenir des appareils propulseurs de type électrique (à ions ou à plasma) de puissance suffisante, alimentés par des centrales nucléaires. Mais pour atteindre un tel résultat, il faudrait augmenter de plusieurs millions de fois la poussée de ce type de moteur, et réduire d'autant le poids de la centrale électrique à combustible nucléaire associée. Dès à présent, des études se développent dans différents pays.

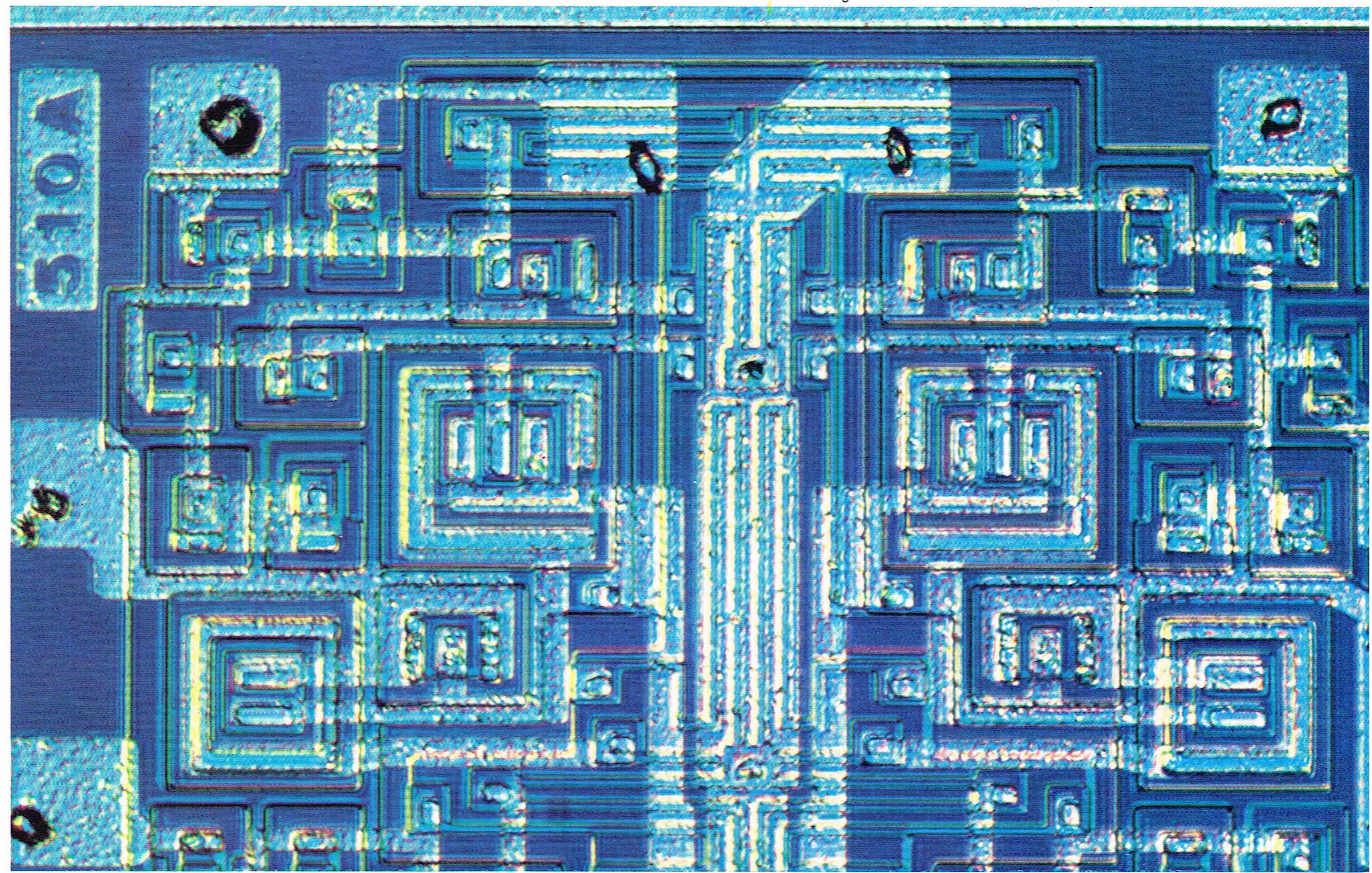
Le *« Savannah »*, premier navire marchand à propulsion nucléaire : lancé en juillet 1959, et désarmé en février 1967 à cause du coût élevé de son exploitation.

P.R.I.



MINIATURISATION ET MICROMINIATURISATION

Société générale des semi-conducteurs



Circuit intégré de type digital pour calculateur de type logique.

Dès avant 1939, des procédés nouveaux dits de « miniaturisation » et visant à donner aux composants les plus petites dimensions possibles sont apparus dans l'électrotechnique et surtout dans l'électronique.

Au temps des premiers récepteurs radio, immédiatement après la guerre 14-18, une « lampe thermo-ionique » avait les dimensions d'une bouteille d'un demi-litre, un condensateur normal était gros comme une savonnette et les bobines avaient des dimensions respectables. Au moment du grand essor de la T. S. F., vers 1935, ces dimensions s'étaient déjà fortement réduites : une lampe n'avait plus qu'une dizaine de centimètres de hauteur et quatre ou cinq de diamètre, un condensateur avait la taille d'une fusette, les résistances dites « chimiques » avaient quelques millimètres de diamètre et quelques centimètres de longueur.

Pendant la guerre, la taille des composants subit une nouvelle réduction et, peu de temps après la fin du conflit, on vit apparaître les premières lampes « miniatures », d'une longueur de quatre ou cinq centimètres et d'un diamètre de deux centimètres ; celles-ci permirent l'avènement du téléviseur. S'il avait fallu utiliser, pour la fabrication de ce dernier, les lampes d'avant-guerre, on aurait eu des appareils aux dimensions absolument inacceptables. Les autres composants essentiels de l'électronique voyaient, eux aussi, leur taille se réduire : de nouveaux films en matière plastique (P. C. V., polystyrène) et de nouveaux procédés de métallisation permirent d'obtenir des condensateurs toujours plus petits ; de nouveaux mélanges et des techniques inédites pour la fixation des bornes des conducteurs entraînèrent une importante réduction des dimensions des résistances, tandis que les bobines, constituées désormais de fils très minces et soigneusement calibrés, n'avaient plus, même dans les téléviseurs, que les dimensions d'une boîte d'allumettes.

Dans le même temps, la taille des composants subissait une forte réduction : les relais téléphoniques, dans les centraux automatiques, devenaient extrêmement petits, et tous les appareillages, y compris ceux de l'électronique dite de puissance (télérupteurs, contacteurs, interrupteurs), voyaient leurs dimensions réduites au moins de moitié. Cette course à la réduction intéressait aussi le domaine des appareils de grande puissance, favorisée par la découverte de matériaux nouveaux, en particulier des isolants plus efficaces (peintures, vernis, rubans de verre, lamelles magnétiques à cristaux orientés, etc.).

LE CIRCUIT IMPRIMÉ ET LE TRANSISTOR

Un élément d'une extrême importance apparut il y a une vingtaine d'années : le circuit imprimé. C'est un support isolant, grand à l'origine comme une page de livre, et sur lequel on reproduit, par un procédé photographique ou d'autres techniques, un circuit constitué par une mince lamelle de cuivre, obtenu grâce à un « dessin » comportant des pleins et des vides. Aux endroits voulus, on soude les connexions des différents composants (résistances, condensateurs, etc.) ; on remplace ainsi un circuit formé d'un châssis, de câbles et de supports isolants par une « plaquette » équipée de tous ses composants et se terminant par une ou plusieurs connexions. Le gain de place et l'abaissement des coûts sont considérables. La découverte des semi-conducteurs donna une impulsion encore plus énergique à la miniaturisation ; en effet, le transistor, beaucoup plus petit qu'une diode ou une triode de caractéristiques analogues, dégage peu de chaleur. Par conséquent, il devient possible de réduire encore plus les dimensions de l'ensemble, car il exige un système d'alimentation moins puissant.

Tout en conservant ses caractéristiques de base le circuit imprimé devint apte à recevoir pratiquement tous les composants électroniques (sauf, bien entendu, les condensateurs, les potentiomètres et les haut-parleurs). Ce fut la naissance des petits appareils portatifs : « transistors », tourne-disques, téléviseurs à piles, etc. Mais la grande « révolution » entraînée par la miniaturisation a intéressé surtout le secteur industriel.

L'électronique industrielle et le secteur des télécommunications se sont enrichis d'une multitude de composants à semi-conducteurs, de condensateurs microscopiques (à film métallisé de polypropylène ou de maylar) et de résistances dont la taille minuscule ne permet même pas l'inscription d'une indication lisible, à tel point qu'il faut les reconnaître par des bandes de couleur.

Dans le domaine de l'électronique industrielle, les plaquettes à semi-conducteurs et éléments miniaturisés ont proliféré à très grande vitesse, réduisant considérablement les dimensions des différents appareillages.

Dans le domaine des télécommunications, la miniaturisation a permis, par exemple, de réduire dans la proportion de dix à un les dimensions des centraux téléphoniques, de rendre infiniment moins encombrants les systèmes radar, les relais radio, etc. Les calculateurs électroniques ont bénéficié, eux aussi, d'une réduction considérable.

Simultanément, les semi-conducteurs de puissance remplaçaient, dans les appareils de forte puissance, les encombrantes lampes redresseuses à vapeurs de mercure et rendaient compétitifs, dans un grand nombre d'applications, les moteurs à courant continu, munis d'un système de régulation permanente de la vitesse, par rapport aux moteurs à courant alternatif, à vitesse constante, dotés de variateurs de vitesse mécaniques.

La miniaturisation a été rendue possible par les progrès de l'industrie. Pour obtenir les matériaux convenant à la réalisation des semi-conducteurs (des impuretés accidentelles n'y peuvent être présentes que dans la proportion d'environ une pour dix millions), il faut des appareillages d'une conception entièrement nouvelle, hermétiquement fermés, de telle sorte que le matériau ne se trouve jamais en contact avec l'opérateur avant l'achèvement du traitement et la pose d'une couche de protection. Pour fabriquer des films isolants d'une épaisseur de quelques centièmes de millimètre, d'autres machines complexes sont nécessaires, de même que pour réaliser la métallisation des semi-conducteurs, qui doit être exécutée sous vide, à une température rigoureusement contrôlée et selon des procédés absolument inédits.

Un exemple saisissant de microminiaturisation; des milliers de circuits intégrés, employés dans les plus récents calculateurs électroniques IBM; le bout de crayon permet, par comparaison, d'en apprécier la taille.



I.B.M.

DE LA MINIATURISATION A LA MICROMINIATURISATION

La technique de ces dernières années a largement dépassé le stade de la miniaturisation pour entrer dans celui de la microminiaturisation, caractérisée par la réalisation de composants de dimensions encore plus réduites. Voici deux ou trois ans, pour montrer au public les performances que cette technologie nouvelle était capable d'accomplir, on a réalisé des récepteurs radio dont les dimensions (en ne tenant pas compte de l'écouteur et d'un petit condensateur variable) étaient celles d'un timbre-poste, avec une épaisseur de deux millimètres. Le stade du circuit imprimé comportant des soudures à l'étain au niveau des connexions des différents composants était ainsi dépassé. Le circuit de l'appareil était formé par un mince support isolant, sur lequel on avait « rapporté » successivement des couches micrométriques de matériaux métalliques divers en reproduisant sur chacune des « dessins » bien définis au moyen de caches comportant des vides et des pleins différemment disposés. Deux couches micrométriques de nickel et de chrome formaient les résistances ; trois couches superposées d'aluminium et d'oxyde d'aluminium les condensateurs ; un très mince réticule d'or les connexions. En des points précis étaient soudés des microtransistors et des microbobines, opération exécutée au laser, sous vide, au moyen de manipulateurs micrométriques motorisés et sous contrôle microscopique.

C'était la naissance du « circuit intégré » ; les dimensions de ce dernier subirent ensuite une réduction encore plus poussée, tandis que sa structure s'enrichissait progressivement de nouveaux composants, notamment des semi-conducteurs. Il existe aujourd'hui dans le commerce des circuits intégrés dont la taille ne dépasse pas celle d'un bouton et qui comportent une dizaine de fils de sortie ; ce sont des dispositifs capables de remplir (à un niveau de puissance très inférieur, mais avec une égale précision) les mêmes fonctions qui étaient assurées, voici peu d'années seulement, par une plaquette au format d'une carte postale et au poids de vingt ou trente grammes au moins et, il y a vingt ans, par une plaque d'un poids de un à deux kilos.

On emploie toujours des plaquettes, car, pour nombre de fonctions, il est exigé des puissances qui excluent le recours aux circuits intégrés, mais une même plaquette peut porter un nombre considérable de circuits intégrés, outre des composants de plus grande puissance, et assumer des fonctions très complexes en dépit de son volume très réduit et de son poids absolument négligeable. Mais alors — se demandera-t-on —, vu l'énorme diffusion de la microminiaturisation dans le domaine de l'électronique industrielle, des télécommunications, des calculateurs électroniques, que se passe-t-il lorsqu'un microcomposant se détériore ? Bien sûr, il est impossible d'effectuer une réparation, même en disposant des moyens très perfectionnés d'un laboratoire bien équipé. La solution adoptée est tout autre : les diverses fonctions assurées par l'appareil électronique dans son ensemble sont matériellement regroupées dans une plaquette spéciale qui commande des circuits d'alerte, qui, au moyen de témoins lumineux ou autres, signalent la fonction défaillante. Il est ainsi possible de localiser la panne et d'y remédier en remplaçant la plaquette ou tout le panneau défectueux par une pièce de rechange. Le laboratoire décidera ensuite s'il convient ou non de réparer la pièce détériorée en fonction du coût de l'intervention.

Il est à peine nécessaire de souligner l'importance de la microminiaturisation dans le domaine spatial et dans celui de la recherche.

LES SEMI-CONDUCTEURS

Dans les progrès extraordinaires accomplis par l'industrie, l'électronique a joué et continue de jouer un rôle de premier plan. La découverte et l'introduction d'éléments miniaturisés ont permis à l'électronique de se répandre dans toutes les branches d'activité, abaissant les coûts de production, et améliorant les performances et la qualité. Ce mouvement de transformation a débuté avec la découverte du « transistor » due aux Américains John Bardeen et Walter Brattain, tous deux prix Nobel de physique et attachés aux laboratoires de la société Bell Telephone ; cette découverte constituait l'aboutissement d'études et d'expérimentations entreprises dix ans plus tôt par le physicien américain William Shockley ; c'était en 1948.

Le mot « transistor » provient de la contraction de deux vocables anglais : transfer *et* resistor*; en effet, cet élément fondamental de l'électronique constitue un compromis entre un « conducteur »* (transfer) *et une « résistance »* (resistor)*. Ce fut le début de l'ère des « semi-conducteurs », qui allaient remplacer les lampes thermo-électroniques dans la fonction d'amplification des signaux électriques et ce, grâce à leur structure moléculaire très particulière.*

Le phénomène de conduction et d'amplification est dû au déplacement d'électrons libres sous l'influence d'une excitation électrique, qui contrôle ce déplacement. Une des propriétés des semi-conducteurs est d'assurer la conduction de signaux électriques de très faible intensité, alors que les lampes thermo-ioniques exigeaient une intensité relativement plus élevée ; en outre, en raison de la simplicité de sa structure et du mode de conduction, un transistor a une durée de vie exceptionnelle, ce qui l'oppose encore aux tubes à vide (lampes), à usure rapide. Les semi-conducteurs sont sensibles aux variations de température ; en effet, si les électrons libres sont facilement excités par des signaux électriques de faible intensité, ils le sont tout autant, à cause précisément de leur très grande mobilité, par les variations de température.

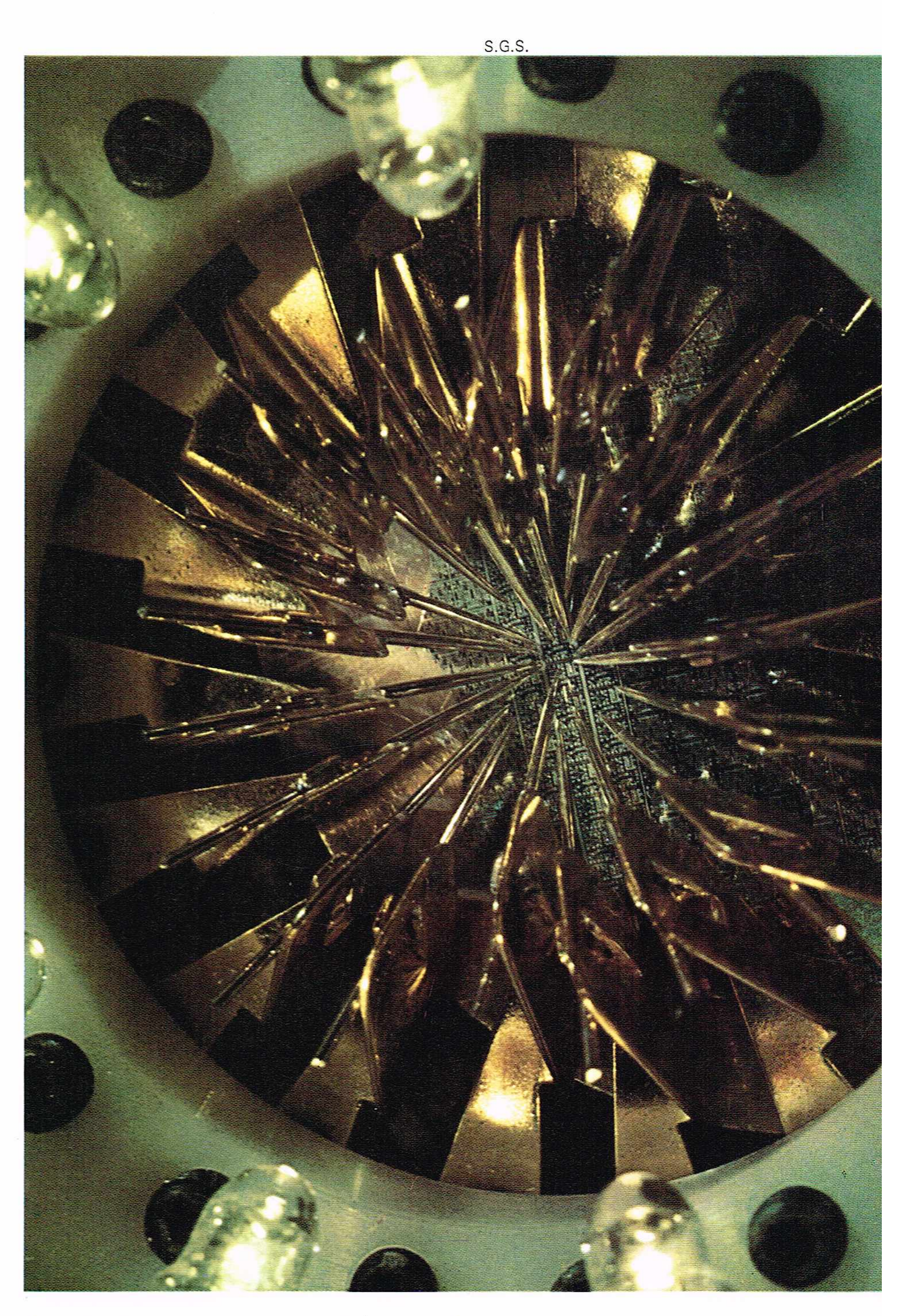
Chaque type de transistor se caractérise par un intervalle de température (indiqué par un minimum et un maximum) à l'intérieur duquel il fonctionne correctement ; cet intervalle fait partie des spécifications signalées par les fabricants. En dehors de cet intervalle, outre le mauvais fonctionnement, on risque la détérioration définitive de l'élément.

TRANSISTORS AU GERMANIUM ET AU SILICIUM

Les « dispositifs à l'état solide » sont constitués généralement de germanium ou de silicium. Les caractéristiques des premiers sont : faible tension d'alimentation, gain élevé d'amplification aux basses températures, plus grande mobilité des électrons libres (trois fois supérieure à celle du silicium), donc meilleur rendement aux fréquences de travail élevées ; les caractéristiques des seconds : hautes températures de travail (plus de 200 °C, deux fois supérieures à celles du germanium), permettant de véhiculer, à taille égale, une plus grande puissance, grande stabilité de fonctionnement pour des courants de faible intensité.

Pour modifier la conductivité et donc le comportement d'un cristal semi-conducteur, on le soumet à un traitement appelé « dopage » qui consiste à introduire, dans le cristal, des impuretés d'autres substances (arsenic ou indium, selon la nature du cristal à modifier), augmentant le nombre d'électrons libres, donc la conductibilité ; celle-ci sera négative (semi-conducteurs de type N) si l'impureté est constituée par un corps « donneur » d'électrons, ou positive (semi-conducteurs de type P) dans le cas d'un corps « accepteur » d'électrons et qui, de ce fait, crée des « trous » dans les liaisons électroniques de covalence. Tous les transistors comportent des zones de dopage différentes selon la fonction qu'ils doivent accomplir : la conductivité résulte de la possibilité, pour les électrons libres, de changer de zone, en franchissant une « barrière », sous l'effet d'une influence extérieure, telle une tension électrique, une variation de température.

S.G.S.



Contrôle électrique automatique de circuits intégrés.

La production des semi-conducteurs à l'échelle industrielle a débuté en 1954 ; puis les techniques de fabrication se sont perfectionnées, entraînant une amélioration des performances. Des méthodes de fabrication « à jonction », on est passé au procédé dit « planar », rendu possible par l'introduction du silicium, procédé qui a marqué la première étape dans la réalisation des circuits imprimés, d'abord simples puis de plus en plus complexes. Le transistor a remplacé complètement les lampes radio dans les circuits électroniques, car il facilite la réalisation des circuits d'un encombrement réduit (circuits imprimés), avec suppression des connexions par câbles (une des causes de pannes) ; en outre, puisque les tensions d'alimentation sont considérablement réduites, on a pu diminuer notablement l'encombrement des alimentations et abaisser dans une égale proportion les coûts de production.

On peut affirmer que toute l'électronique moderne repose sur l'emploi des semi-conducteurs, depuis les instruments de télécommunications jusqu'aux ordinateurs.

Tous les appareils électroniques ont vu leur taille décroître progressivement, et, pour s'en convaincre, il suffit de comparer un récepteur radio d'avant-guerre avec un « transistor » de poche d'aujourd'hui.

S.G.S.

Ci-dessus : plaquette de circuit imprimé pour calculateur électronique, contenant 73 circuits intégrés.

LES CIRCUITS INTÉGRÉS

L'avènement des circuits intégrés a eu des répercussions encore plus importantes que la découverte du transistor.

Introduits dans l'électronique pour donner une solution plus radicale au problème de la miniaturisation, les circuits intégrés sont d'un intérêt incomparable. Non seulement ils peuvent remplacer les transistors et les autres composants employés jusqu'à présent (résistances, condensateurs, bobines, diodes) dans les circuits, mais ils permettent des applications qui n'étaient pas envisageables avec les transistors. Le principal inconvénient que présentent les appareillages complexes comportant un grand nombre de composants réside dans la fréquence des pannes de fonctionnement ; or, le circuit intégré a pratiquement supprimé cet inconvénient, car chaque élément assure, à lui tout seul, les fonctions qui étaient précédemment dévolues parfois à un millier de composants.

Actuellement, les circuits fabriqués en micro-électronique sont divisés en quatre catégories : monolithiques, hybrides à chips, hybrides à couches épaisses, hybrides à couches minces. Les circuits monolithiques (ou circuits intégrés), qui sont l'évolution directe des transistors planars, sont constitués par un cristal de silicium unique (d'où le qualificatif de « monolithiques ») ; les différents composants actifs (transistors et diodes) et passifs (résistances, condensateurs et impédances) sont formés selon un processus de diffusion progressive et subissent un traitement de métallisation, qui assure leur connexion. Cette technique permet une production massive et à faible coût.

Les circuits hybrides à chips sont constitués par la réunion d'éléments actifs et d'éléments passifs dans une enveloppe unique, connectés entre eux au moyen de fils capillaires en or. Cette technique permet des réalisations très variées et un coût acceptable pour les petites séries, mais trop élevé pour les séries importantes.

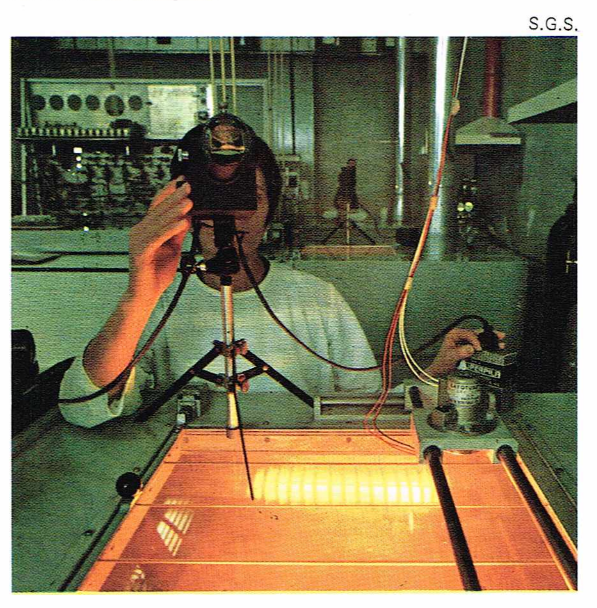
Les circuits hybrides à couches épaisses sont réalisés selon une technique qui utilise un procédé sérigraphique à l'aluminium sur un support de céramique pour la connexion des éléments passifs, opération suivie par la soudure des éléments actifs (on peut, si on le désire, introduire des circuits intégrés monolithiques). Cette technique permet de réaliser n'importe quel circuit électronique transistorisé. Les circuits à couches minces diffèrent des précédents par le fait qu'ils sont réalisés sur verre ou céramique, en opérant sous un vide poussé ; dotés de caractéristiques de fonctionnement exceptionnelles, ces circuits exigent cependant l'emploi de machines très sophistiquées pour leur fabrication. Ils sont sans doute appelés à connaître un très grand développement.

Tous les composants employés dans les circuits transistorisés ne peuvent être reproduits avec les mêmes dimensions dans les circuits intégrés ; par conséquent, la technique des circuits intégrés ne s'applique pas à tous les composants existants (par exemple, une résistance de plus de 10 millions d'ohms ne peut être reproduite dans aucun type de microcircuit). Cela a amené les ingénieurs à modifier radicalement, dans bien des cas, leurs projets, pour tenir compte des limites imposées par les caractéristiques des circuits intégrés ; en particulier, on a réduit au minimum indispensable le nombre d'éléments passifs dans les circuits intégrés, que l'on a remplacés par des éléments actifs dans les fonctions qu'ils assuraient.

Pour finir, et à titre de curiosité, signalons que, dans un volume d'un décimètre cube, peuvent prendre place trois composants d'un téléviseur normal, ou une centaine de transistors, ou un millier de circuits intégrés monolithiques, ou, enfin, des dizaines de millions de circuits tout récemment mis au point, dits LSI (Large Scale Integration = intégration à grande échelle). Si l'on pense que le même volume peut contenir presque dix milliards de cellules du cerveau humain, on mesure tout à la fois les progrès rapides de la technique et le chemin qui s'ouvre encore devant elle.

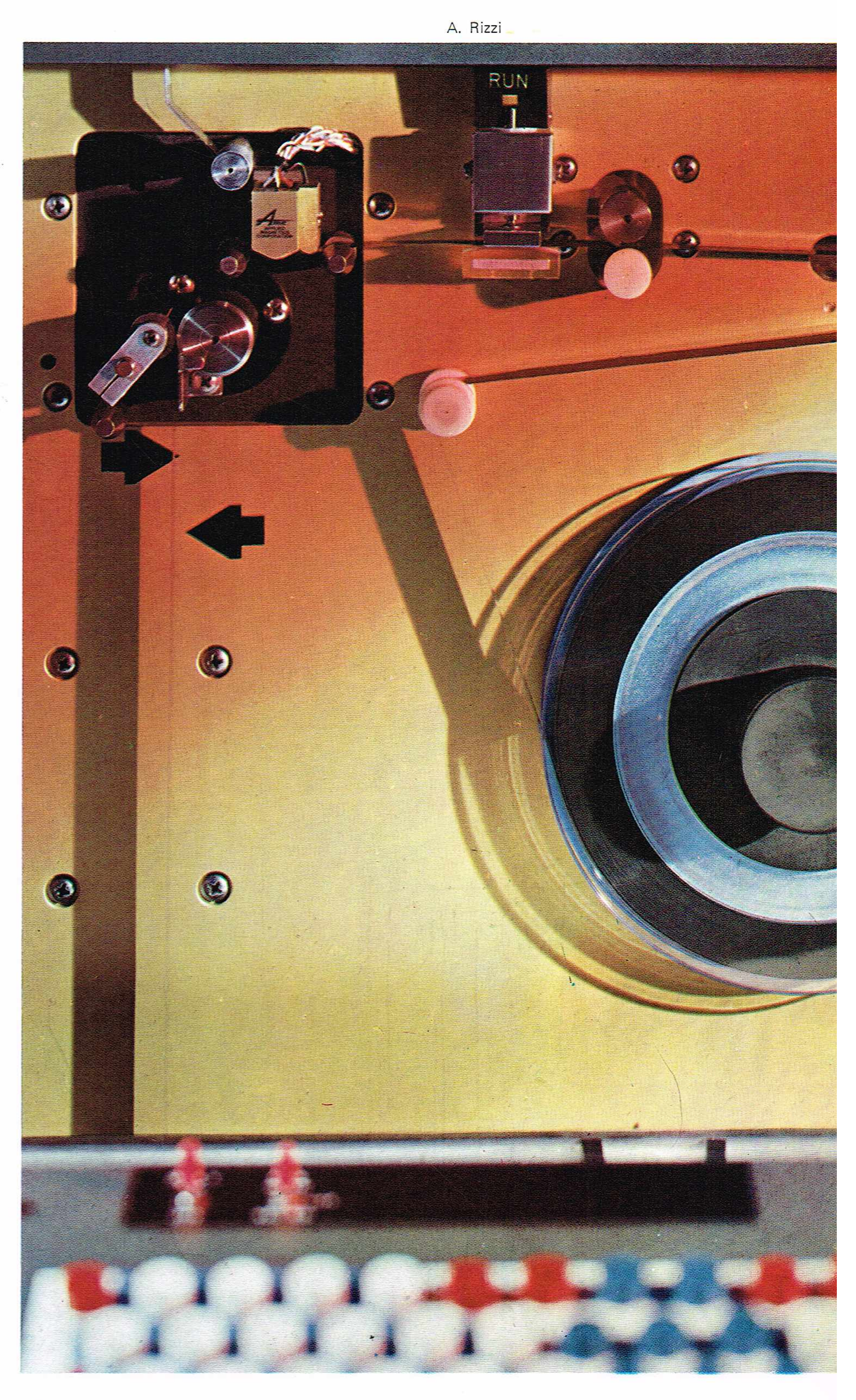
Accroissement de la couche épitaxiale sur les tranches de silicium monocristallin destinées à la réalisation de circuits intégrés.

S.G.S.



LES ORDINATEURS

A. Rizzi



Le calculateur électronique ou ordinateur est un dispositif qui réalise des opérations logiques avec ou sans l'intervention de l'homme. La diffusion des ordinateurs est devenue, au cours des dernières années, très rapide : il suffit de penser qu'un seul existait en 1945, 30 000 en 1965, 85 000 en 1975. La caractéristique essentielle de ce type particulier de machine consiste à élaborer des informations. Elles constituent les éléments d'échange indispensables à toute communication entre les hommes, ou entre l'homme et la machine. L'une des tâches typiques d'un calculateur est l'exécution d'opérations arithmétiques ; c'est pour effectuer ces opérations que naquirent les premières machines à calculer, depuis le boulier japonais jusqu'au calculateur à roues de Pascal. Ce dernier était une machine à engrenages semblable à un tachymètre.

Plus tard, Leibniz perfectionna la machine de Pascal et la rendit capable d'effectuer des multiplications, des divisions et même des extractions de racines. Mais le vrai précurseur des calculateurs électroniques modernes fut Charles Babbage. Vers 1840, il entreprit de construire le premier calculateur, mais il ne put mener à bien son entreprise, faute de moyens techniques. La « machine analytique » de Babbage est très importante, car elle renferme les principes fondamentaux de fonctionnement qui sont à la base des ordinateurs modernes : l'introduction des données au moyen de fiches perforées, l'unité de calcul, la mémoire d'accumulation, l'impression mécanique, la programmation, le contrôle séquentiel du programme, etc.

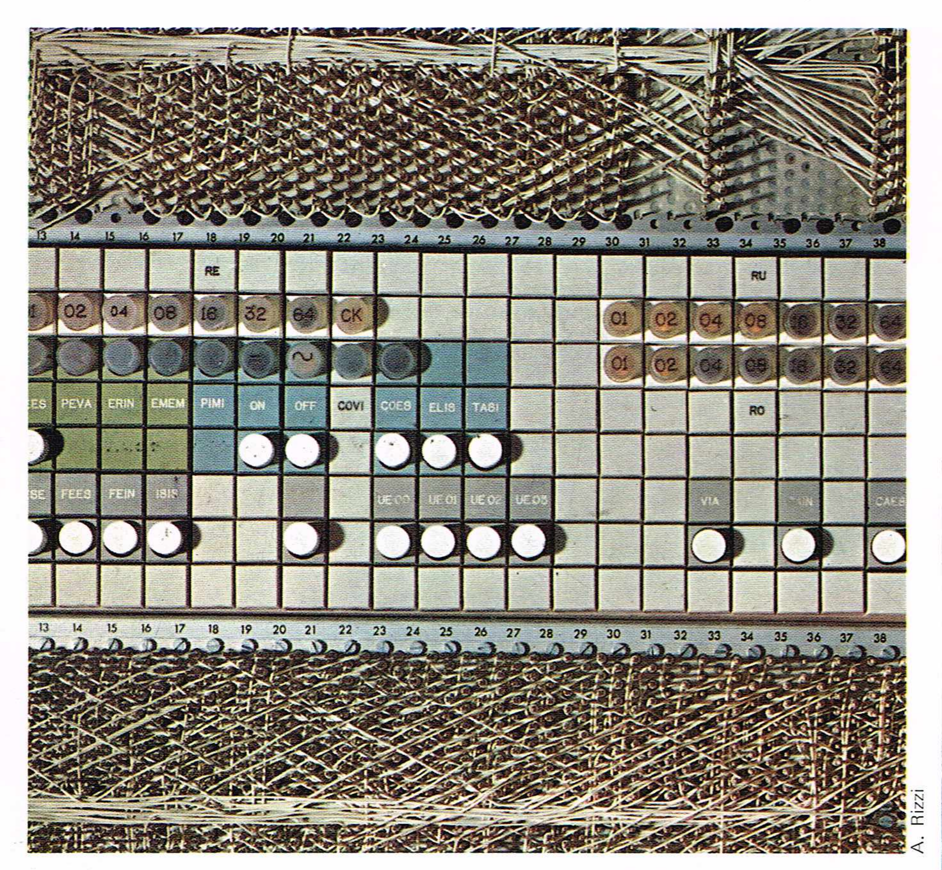
Après l'échec de Babbage, qui ne put réaliser une machine capable d'effectuer de manière rapide et sûre les opérations prévues dans un programme, il s'écoula plusieurs années avant l'avènement des dispositifs électromécaniques (relais) et électroniques (lampes, semi-conducteurs) qui permirent la construction de calculateurs élaborés. Le calculateur à relais était mille fois plus rapide que la machine de Babbage, le calculateur à lampes mille fois plus rapide que le précédent et le calculateur à semi-conducteurs (l'ordinateur moderne) encore mille fois plus rapide. Nous disposons donc aujourd'hui de machines douées d'une vitesse de fonctionnement environ mille millions de fois supérieure à celle des machines mécaniques.

LE LANGAGE DE L'ORDINATEUR

Un ordinateur est constitué par un ensemble d'unités ou organes : l'unité d'entrée et de sortie, l'unité de calcul, l'unité de mémoire et l'unité de contrôle. La première permet la communication de l'ordinateur avec l'homme ou une autre machine ; la deuxième effectue les différentes opérations de calcul prévues ; la troisième est chargée de conserver les instructions du programme, la dernière enfin gère et contrôle toutes les précédentes selon les instructions du programme.

Pour communiquer avec un ordinateur, il faut parler « son langage » ; celui-ci, appelé langage de base, *consiste en une série d'instructions codées, qui correspondent chacune à une certaine opération du calculateur. Ces langages, difficiles à manier, sont différents pour chaque type de machine. Il est donc nécessaire de disposer de langages plus simples et plus courts, de telle sorte qu'une seule instruction puisse commander à la machine de réaliser plusieurs opérations. Parmi ces langages symboliques, les plus connus sont le Fortran* (Formula Translation), *l'Algol* (Algorithmic Language), *le Cobol* (Common Business Oriented Language).

Détail d'un calculateur électronique.



A. Rizzi

Ci-dessus : intérieur d'un ordinateur.
Ci-contre : détail d'un modèle tridimensionnel de la pression acoustique créée par la prononciation du mot « five ». Les chercheurs d'IBM étudient la manière de programmer les ordinateurs à l'aide de la voix humaine. Dans ces recherches, la visualisation des éléments phonétiques joue un rôle primordiale.

Pour passer de ces différents langages au langage de base de chaque ordinateur, il est nécessaire de disposer d'un programme dans le langage de base de la machine (compilateur) capable de traduire en langages symboliques les programmes étudiés.

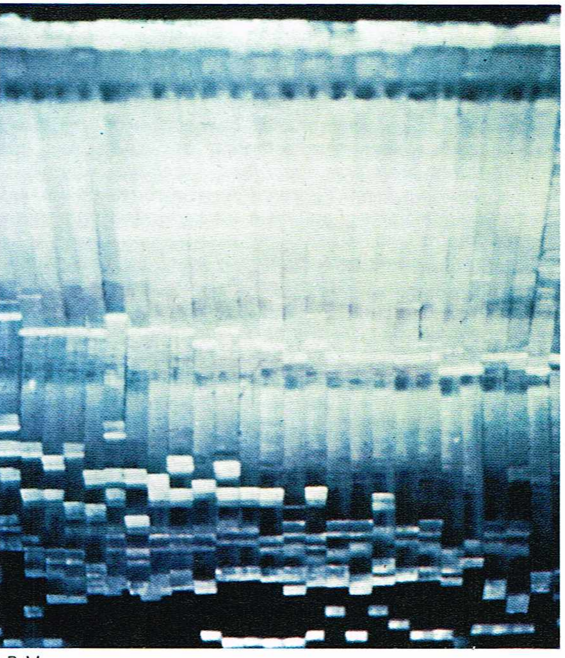
Au moyen de simulations et de programmes convenables, on peut utiliser les ordinateurs pour en mettre d'autres au point. On examinera toutes les solutions possibles et, seulement lorsqu'on aura trouvé une solution satisfaisante, on procédera à la construction du nouvel ordinateur.



Olivetti

APPLICATIONS DES ORDINATEURS

Les ordinateurs ne permettent pas simplement de résoudre des systèmes d'équations, mais aussi d'effectuer les opérations les plus diverses : calculer et enregistrer les salaires, programmer des réservations (sur avions, trains, etc.) ; mettre à jour minute par minute la comptabilité d'une banque ou d'une bourse de valeurs ; contrôler et régler les processus de fabrication ; établir l'inventaire des textes d'une bibliothèque et en permettre la consultation rapide ; effectuer des sondages d'opinion sur un échantillon significatif, afin de déterminer, par exemple, les tendances politiques ou les tendances de la consommation ; contrôler et diriger des systèmes de défense militaire ; composer certains types de musique ; réaliser des graphiques ou des dessins, etc. Les calculateurs peuvent servir aussi à régler les feux de signalisation dans le trafic urbain ou à programmer le trafic aérien.



I.B.M.

Devenues très nombreuses, les applications des ordinateurs sont aujourd'hui déterminantes pour tout progrès tant scientifique que technologique. Ils ont permis d'apporter une solution à des problèmes scientifiques fondamentaux dans des domaines qui ne se limitent plus à l'astronomie, aux mathématiques et à la physique. Ils ont permis la mise au point de processus d'automation, la réalisation de programmes spatiaux (calcul des trajectoires, guidage de missiles, des satellites artificiels, des sondes, des capsules spatiales, calcul de l'angle de rentrée, etc.) ; ils rendent d'énormes services dans la planification économique, l'établissement de projets et la construction d'avions, de moteurs, de digues, d'immeubles, de ponts, etc. Ils connaissent aussi des applications très intéressantes en médecine et leur emploi progresse chaque jour dans le domaine de la traduction automatique.

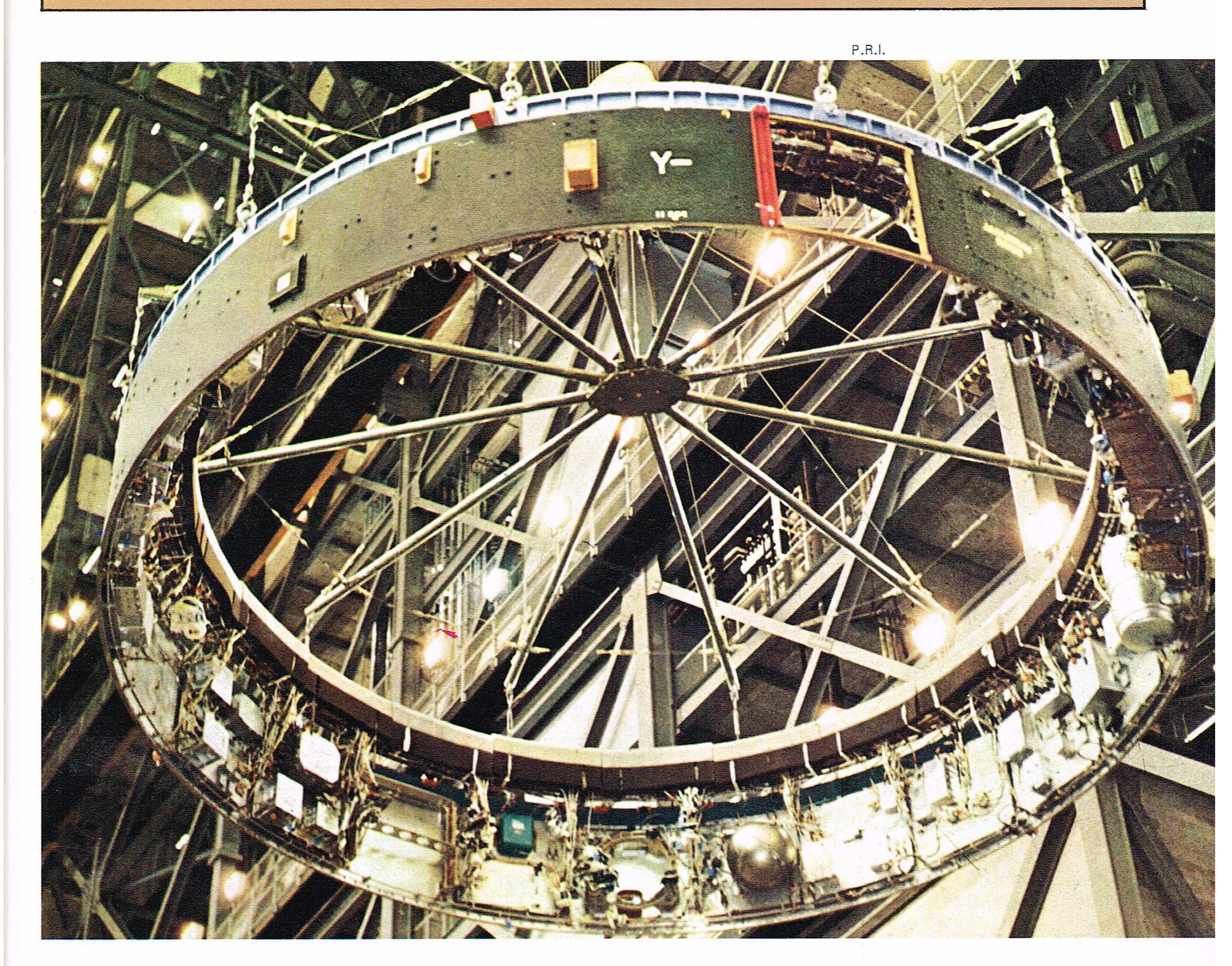
Les ordinateurs pourront remplir un rôle très important dans la programmation de l'instruction à l'échelle internationale. Dans un avenir proche, chaque étudiant pourra suivre un cours individuel, qu'il lui sera possible de moduler en fonction de ses propres capacités : c'est le domaine de l'enseignement programmé.

Il est aisé de comprendre quelle peut être l'importance de ces machines dans le domaine politique et social. La multiplication rapide des ordinateurs et l'accroissement impressionnant de leur puissance et de leur rapidité font de ces machines des instruments capables d'entraîner des modifications sociologiques et mentales profondes, grâce notamment à l'accumulation et à l'interprétation des très nombreux messages qui s'échangent entre l'homme et la machine, ou entre les différentes machines.

Ordinateur et sa périphérie : au centre de l'illustration, on voit l'unité imprimante.

INFORMATIQUE ET AUTOMATISATION

P.R.I.

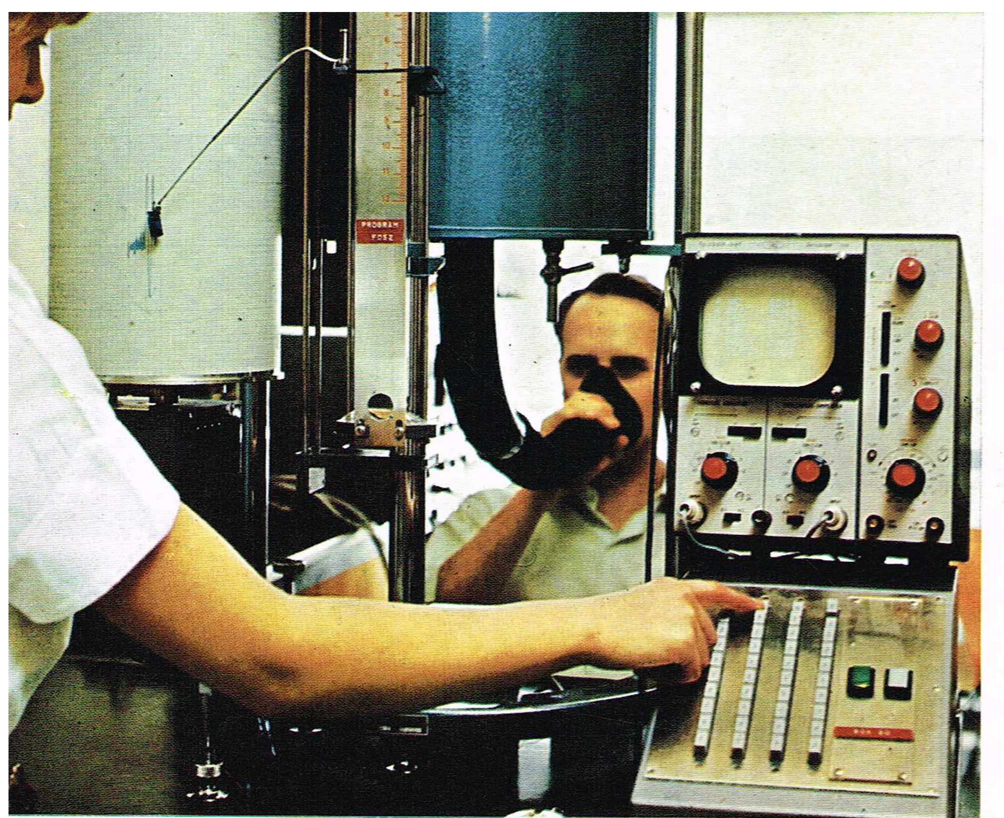


L'anneau de la fusée Saturne V où est installé le calculateur électronique de la capsule Apollo.

Avant de décrire les résultats obtenus grâce à l'automatisation, il est bon de préciser le sens du mot « information ». En effet, dans le langage technique, ce terme indique la transmission d'un point à un autre et d'une personne à une autre d'une ou de plusieurs données nécessaires à la personne à qui elles sont transmises pour accomplir une action déterminée. Ces informations sont parfois rassemblées et traitées par une machine, et dans les cas les plus complexes par un ordinateur; mais, au départ et à l'arrivée des informations, il existe toujours deux personnes ou deux groupes de personnes. Bien souvent, la machine est utilisée pour en stocker un nombre important et pour les communiquer, groupées et ordonnées, lorsque cela est nécessaire, selon un programme préétabli.

Prenons l'exemple simple d'une information ne faisant intervenir aucune machine : un ingénieur remet le plan d'une pièce à la personne chargée de son exécution. Dans ce cas, il y a transmission d'une information sans aucune modification. Le plan porte l'indication du matériau à employer, les opérations à effectuer, les dimensions de la pièce, les tolérances admises, en un mot toutes les informations nécessaires pour que l'exécutant puisse la réaliser.

Mais il est d'autres cas où une phase intermédiaire plus ou moins complexe s'impose dans la transmission des informations. Citons pour exemple la gestion des stocks dans un magasin de pièces détachées. Chaque jour, des pièces sont vendues et expédiées : les bons de sortie sont communiqués à un centre comptable qui groupe les différentes données relatives au mouvement des stocks. Ces informations prennent place à côté de celles que le centre possède déjà, par exemple le coût de chacune



I.G.D.A. - I.B.M.

Exemple d'application médicale de l'informatique : dans un hôpital, à Copenhague, les examens sont analysés par un ordinateur IBM 1800.

des pièces en stock. En fin de semaine, ou en fin de mois, toutes les informations sont traitées, et on obtient des données quantitatives concernant la gestion des stocks, en particulier la valeur globale des sorties, ventilée par article ou groupe d'articles, ou bien d'autres informations présentant un intérêt statistique. A partir de ces informations, des données sont dégagées, intéressant d'autres services de l'entreprise.

Toute la comptabilité des grosses entreprises est aujourd'hui tenue par des systèmes informatiques de ce type, qui font parfois intervenir des ordinateurs de grande puissance. C'est ainsi que l'on procède à l'établissement des paies : les informations dont l'ordinateur dispose sont le taux horaire pour chaque ouvrier, l'incidence des charges, les éléments permettant de calculer le montant des retenues ; on obtiendra ainsi le compte exact qui doit être réglé à chaque ouvrier. A côté des informations stockées en mémoire, l'ordinateur reçoit des données spécifiques qui n'ont pas à être mémorisées : tels le nombre des heures supplémentaires, effectuées par chaque ouvrier, les éléments pour calculer la rémunération du travail au rendement. A partir des informations mémorisées et des informations spécifiques communiquées au fur et à mesure, l'ordinateur établit la feuille de paie, avec tous les éléments de la rémunération. Ce document permet au caissier d'effectuer le paiement et à l'ouvrier d'avoir un bulletin de salaire parfaitement détaillé.

L'informatique constitue aujourd'hui l'instrument de base pour une gestion moderne de l'entreprise : elle permet d'effectuer de manière rapide et sûre la ventilation des coûts, le calcul des prix de revient, l'établissement des bilans.

L'AUTOMATISATION DANS LES BIBLIOTHÈQUES

Une technique semblable est souvent employée pour stocker, classer et ordonner des documents, livres ou ouvrages. Une bibliothèque de documentation technique ou scientifique (dans une grande entreprise, dans un institut universitaire, dans un hôpital) reçoit périodiquement des publications spécialisées (volumes, monographies, articles publiés dans différentes revues). Le bibliothécaire doit les analyser toutes et les ficher, c'est-à-dire établir, pour chacune d'elles, une note résumant les caractéristiques : auteur, éditeur, date de la publication, titre, sujet traité, caractère plus ou moins spécialisé de l'exposé, etc. La fiche est alors communiquée à un centre qui en codifie les données, c'est-à-dire les transcrit sur une fiche perforée, à laquelle on donne le même numéro de référence qu'à la fiche d'origine ; cette dernière est archivée.

Dans les centres de documentation importants, la fiche perforée est traitée par un ordinateur qui mémorise les données qu'elle contient. Le lecteur qui se rend à la bibliothèque pour se documenter fournit un certain nombre de renseignements au bibliothécaire : auteurs ayant traité tel sujet, publications s'y référant, période de parution, pays d'origine, etc. Le bibliothécaire rédige alors une demande et la communique au service de classement des fiches. S'il s'agit d'un centre peu important, on utilise une trieuse pour sélectionner les fiches correspondant aux publications désignées par le lecteur. Cette opération demande quelques minutes ou quelques heures selon le nombre de fiches. Le numéro d'ordre des fiches sélectionnées permet au bibliothécaire de retrouver dans les archives les fiches d'origine qui indiquent, entre autres, la place occupée par les publications dans la bibliothèque (compartiment, rayon, volume, etc.).

Dans les centres importants, le travail de sélection est confié à un ordinateur qui, en utilisant les informations stockées dans sa mémoire, fournit directement un tableau numérique des fiches bibliographiques recherchées ; on procède alors de la même manière pour rechercher la publication dans la bibliothèque. Mais, avec l'ordinateur, la sélection est très rapide et ne demande que quelques minutes. Aujourd'hui, même des centres peu importants peuvent avoir recours aux services d'un ordinateur auquel ils sont reliés par des téléscripteurs. L'ordinateur peut même se trouver dans une ville différente et être relié à plusieurs centres ; il est interrogé directement à partir d'un terminal, par un système comparable à celui du téléphone.

AUTRES APPLICATIONS DE L'AUTOMATISATION

Dans le domaine de l'enregistrement et de l'exploitation statistique des données, l'automatisation offre d'immenses possibilités, tel le cas d'un nouveau médicament mis à la disposition des hôpitaux, des dispensaires et des médecins, dont on désire tester l'efficacité et la tolérance. Le centre informatique recueille toutes les sources d'informations, les transpose sur des fiches perforées (codage) et les met en mémoire dans l'ordinateur. A tout moment et en quelques minutes, la machine pourra fournir les données statistiques issues du traitement de toutes les informations déjà reçues.

Une application analogue concerne l'étude statistique de l'état sanitaire d'une population scolaire : on communique à l'ordinateur les éléments transmis par les services de santé sur les manifestations de maladie observées par les médecins responsables : affections rhumatismales, tuberculose, rachitisme, hypothyroïdie. Le centre informatique peut alors effectuer des études statistiques comparatives, entre certaines régions (en tenant compte de différents paramètres) et leurs situations économiques respectives, pour obtenir ainsi des indications précieuses sur les mesures à prendre dans le domaine de la prévention, de l'hygiène et de l'assistance.

Aux U S A, la lutte contre la criminalité met à profit également les services de l'informatique. En effet, on a pu établir un code permettant de classer les empreintes digitales en fonction de leurs caractéristiques ; avec un tel classement, il est rare de trouver plus d'une dizaine d'empreintes par million présentant des caractéristiques identiques. L'analyse portera alors sur cet échantillon, qui sera comparé avec les empreintes des personnes fichées par les services de police.

L'armée utilise aussi l'informatique pour la sélection des recrues, des militaires de carrière ou des réservistes, en fonction des besoins du service. Chaque personne qui accomplit son service militaire est fichée sur la base de ses caractéristiques psychiques et physiques, de ses aptitudes, de sa formation scolaire, de son expérience professionnelle. Toutes ces données peuvent être facilement et très rapidement analysées à l'aide de l'ordinateur, en vue, par exemple, d'effectuer la présélection d'une équipe destinée à une mission particulière. La sélection définitive, portant sur un nombre restreint de personnes, permettra alors de constituer directement l'équipe.

L'INFORMATIQUE MÉDICALE

« Informatique médicale », « médecine informatique », « application de l'informatique à la médecine »... quel que soit le vocabulaire choisi, il y a toujours quelque chose de choquant dans l'association de ces deux mots : médecine et informatique. *Le premier évoque en effet une science très humaine, très personnalisée, le deuxième une technique rigoureuse et impersonnelle.*

Cette impression n'est d'ailleurs pas ressentie seulement par le public mais aussi par de nombreux médecins. En France, seules quelques équipes hospitalières de pointe s'intéressent aux possibilités de l'informatique et à son application dans le domaine de la médecine.

LA GESTION HOSPITALIÈRE

La gestion d'un hôpital présente de nombreux points communs avec celle d'un hôtel : gestion des « lits », du personnel, de la restauration, de la lingerie, des stocks, de la comptabilité, etc. La seule différence est que ces aspects de l'industrie hôtelière se compliquent à l'hôpital : les lits ne sont pas « banalisés » (répartis en services spécialisés, ils ne peuvent être occupés par n'importe quel malade), la restauration est en grande partie diététique, la circulation du linge pose le grave problème de la stérilisation, la comptabilité est alourdie par les rapports avec la Sécurité sociale, les mutuelles, l'état civil (morts, naissances).

Ce sont précisément là des domaines où l'informatique doit pouvoir rendre de grands services, mais nous ne considérerons pas cette application, de pure gestion, comme spécifiquement médicale.

LES DOSSIERS MÉDICAUX

Quand un médecin ouvre le dossier d'un nouveau malade, il note d'abord les renseignements de base nécessaires concernant le sujet : son nom, son adresse, son âge, son pays d'origine, son métier, la composition de sa famille, son hérédité s'il y a lieu, les opérations subies, les maladies antérieures, etc.

Par la suite, à chaque consultation, sont notés brièvement les troubles qui amènent le malade à consulter, les résultats de l'auscultation, le traitement prescrit, les résultats des analyses demandées (de la simple analyse de routine aux indications d'une radiographie ou d'un électrocardiogramme par exemple).

Peu à peu le médecin possède un dossier concernant le passé médical du sujet et permettant de le connaître et de le « suivre » efficacement.

Au début du siècle encore, on consultait presque uniquement le médecin de famille. Le dossier n'avait donc pas à être transmis. Puis peu à peu apparaissent trois évolutions très nettes dans la vie médicale :

— Les malades qui, autrefois, redoutaient tant l'hôpital, y vont de plus en plus volontiers. De plus, les hôpitaux étant généralement spécialisés, un malade peut avoir séjourné dans plusieurs hôpitaux différents.

— La consultation chez le spécialiste, qui n'était demandée que dans les cas très graves et sur indication du généraliste traitant, est devenue habituelle. Les malades vont même consulter directement un spécialiste, ayant fait eux-mêmes un diagnostic... qui ne s'avère pas toujours exact.

— Les malades ne restent plus forcément attachés de longues années à leur médecin. Ils en changent plus souvent qu'autrefois.

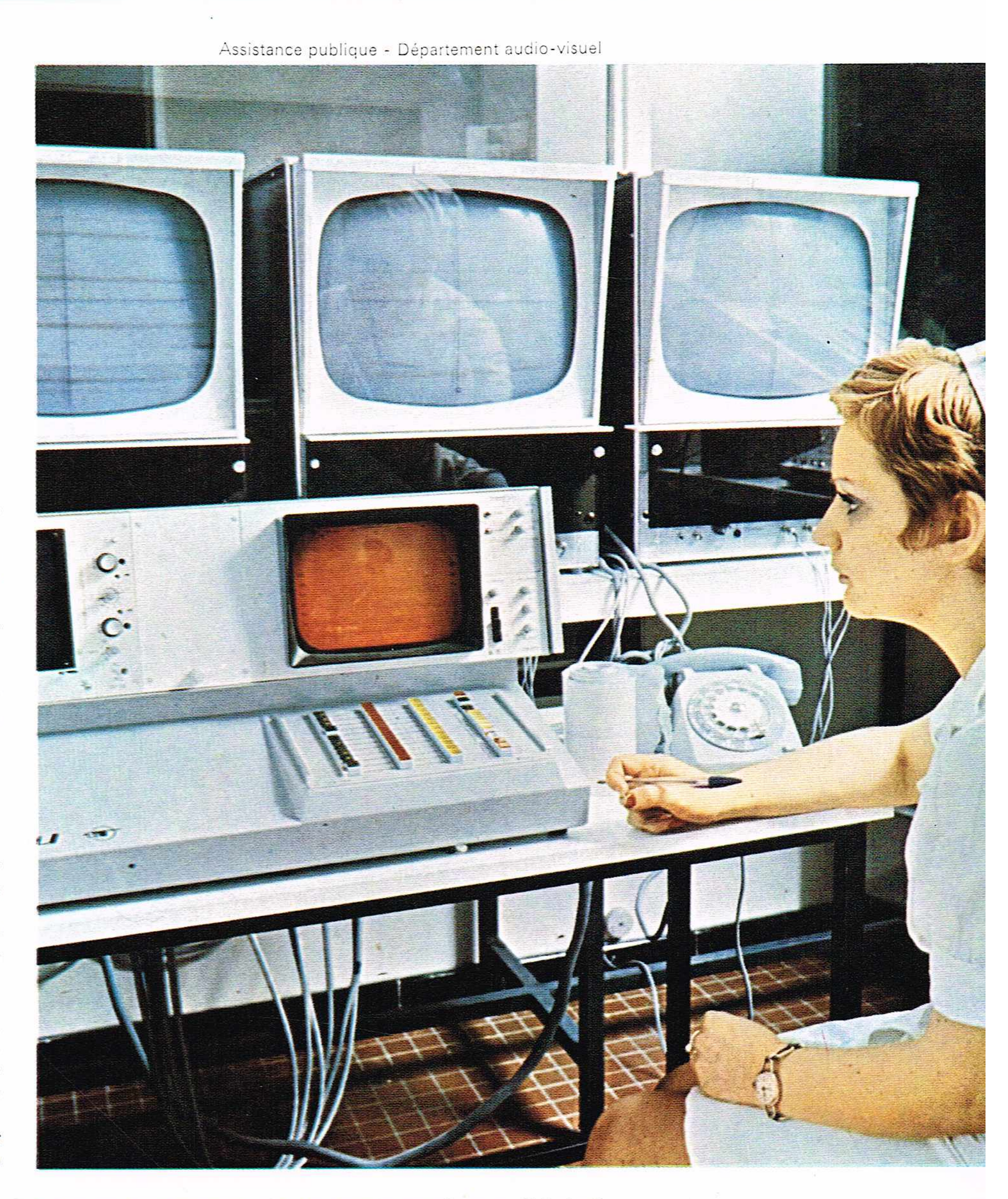
Il s'ensuit que les malades ont des « bribes » de dossier chez des médecins généralistes, des spécialistes, et dans divers hôpitaux (tout le monde sait, par exemple, les difficultés que l'on rencontre pour transférer un dossier d'un hôpital à un autre).

Il apparaît nécessaire que ces dossiers soient d'une part regroupés, d'autre part accessibles à tout médecin qui aurait besoin de les consulter.

C'est ici que l'informatique intervient efficacement; à titre d'exemple, citons l'Unité de recherches statistiques de l'Inserm (Institut national de la santé et de la recherche médicale) qui a mis au point un programme appelé Pastis, capable de traiter un nombre illimité de dossiers sur 2 000 caractéristiques.

Un dossier unique, complet *et* accessible *facilitera à l'évidence le travail du médecin, mais il aura un autre usage : faire progresser* la recherche *et* la prévention médicales. *En effet il est indispensable à notre époque*

Assistance publique - Département audio-visuel



Boxe de réanimation de chirurgie cardiaque (hôpital de la Pitié, clinique chirurgicale du professeur Cabrol).

d'établir des statistiques, concernant les épidémies par exemple ou les résultats de vaccination, de regrouper en vue de la recherche les cas semblables et les résultats des divers traitements expérimentés. Bien sûr, il existe des revues médicales, mais sait-on qu'il paraît dans le monde quelque 1 000 articles médicaux par jour ouvrable ?

L'informatique est parfaitement outillée pour résoudre ces problèmes dans l'ordre pratique. Mais ici se pose déjà un problème d'ordre humain : que devient le secret professionnel ? *Est-il possible que tout ce qui concerne notre santé puisse être ainsi « mis en fiche » et accessible sinon à tous, du moins à beaucoup ?*

Par ailleurs, pour automatiser les données, il faut obliger tout médecin à se conformer à des règles très strictes dans la codification et la transmission de ces données. Tous les médecins n'acceptent pas volontiers l'idée de ces contraintes.

SURVEILLANCE AUTOMATISÉE

Les malades pour lesquels on a conçu le système de surveillance sont les malades graves qui demandent une surveillance de tous les instants : *blessés en état de choc, difficultés respiratoires ou cardiaques menaçant la vie, opérés récents d'interventions majeures. De grands progrès ont été faits dans ce domaine, surtout en cardiologie.*

Comme pour tout problème d'informatique, trois étapes sont à parcourir :

- *le recueil des données,*
- *le traitement des données,*
- *la lecture et l'interprétation des résultats.*

Actuellement, la difficulté majeure se rencontre dans la première étape : l'acquisition des données. Il n'est pas simple d'enregistrer des valeurs physiologiques, et qui plus est de façon continue.

Si pour l'électrocardiogramme les capteurs sont simples (il s'agit de prises de potentiels électriques, l'appareillage reste extérieur au malade et peut être supporté de façon continue sans léser les tissus), comment prélever, sans léser, des valeurs telles que débit urinaire, composition chimique du sang (oxygène, gaz carbonique), volume plasmatique et globulaire ?

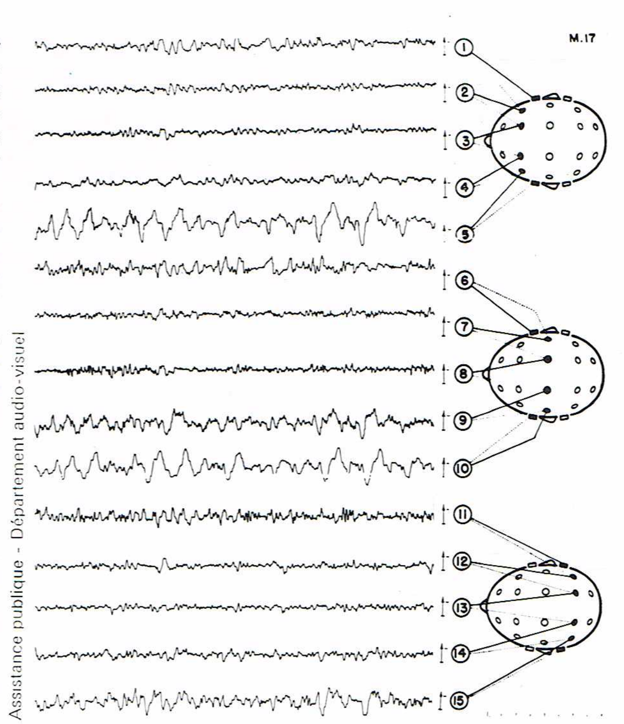
De nombreuses recherches sont faites actuellement concernant les capteurs, en particulier dans les services de pointe de réanimation.

Il faut ensuite traiter ces données, mais ici, le malade n'étant plus en jeu, le problème n'est pas très différent de ceux que l'on rencontre dans les domaines non médicaux.

Enfin, il faudra lire et interpréter les résultats : c'est à ce stade que l'informatique va vraiment aider à surveiller *le malade. Il va être demandé à la machine non seulement de lire et d'interpréter les résultats mais de* signaler *les anomalies.*

Prenons l'exemple de l'électrocardiogramme. Les ondes recueillies vont être automatiquement comparées à un tracé normal. Toute anomalie importante *sera détectée et déclenchera un signal d'alarme appelant l'infirmière au chevet du malade.*

On voudrait aller plus loin et demander à la machine non seulement de donner l'alerte, mais de donner des ordres de soins *(véritables soins automatiques). Par exemple il n'est pas impossible d'envisager un réglage automatique du débit d'une perfusion d'une solution médicamenteuse en fonction des données physiologiques recueillies.*



Assistance publique - Département audio-visuel

Électro-encéphalogramme : un ordinateur peut composer les signaux reçus à un E.E.G. normal et signaler les anomalies graves.

LE DIAGNOSTIC AUTOMATIQUE?

L'ordinateur est-il capable de faire un diagnostic ? Cette question peut paraître a priori *choquante. Nous savons, certes, que le diagnostic médical est le fruit de démarches logiques sûres, appuyées sur un vaste savoir, mais beaucoup pensent qu'il y entre une part de connaissance humaine directe du malade, certains parlent d'intuition.*

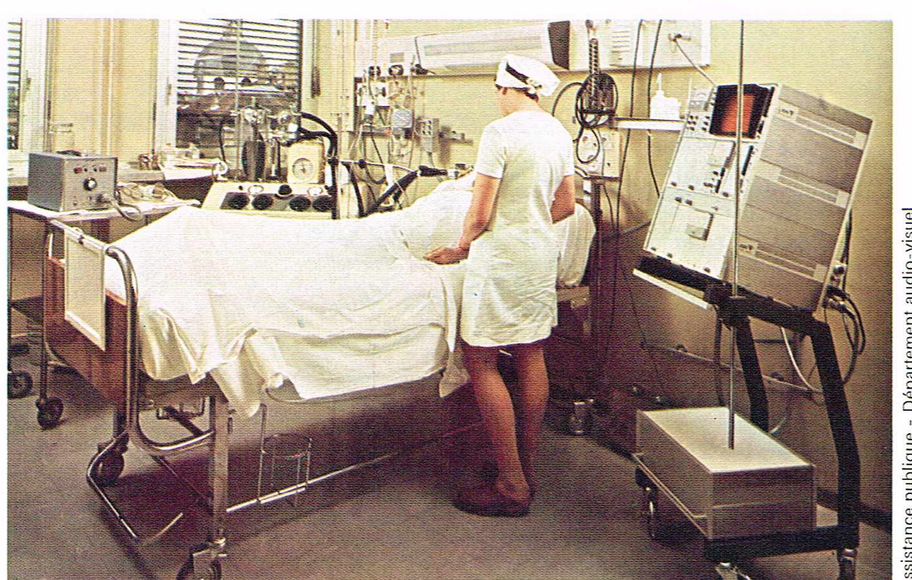
Pourtant un ordinateur doit pouvoir reproduire tout raisonnement ; pourquoi pas le cheminement logique qui amène le médecin au diagnostic ?

La recherche dans ce domaine est amorcée. Mais nous n'en sommes encore qu'aux balbutiements et le terme de diagnostic assisté *(par l'ordinateur) est généralement adopté.*

Il est certain que l'informatique va bouleverser professionnellement les méthodes médicales. Curieusement, comme le fait remarquer l'équipe ADIN (Association pour le développement de l'informatique à la faculté Necker), ce sont les malades qui ressentiront le moins visiblement les changements à venir ; qu'un ordinateur soit présent ou non derrière un système de surveillance, que le diagnostic soit assisté ou non, cela n'a pas pour le malade de conséquences médicales perceptibles.

Par contre le médecin, lui, dont l'acte est souvent solitaire, « devra apprendre à dialoguer avec des systèmes conçus par d'autres et pour cela se plier à l'utilisation d'un langage médical rénové et normalisé. Moyennant quoi ils verront sans doute augmenter leurs moyens d'action actuellement limités par la spécialisation et par la coupure entre le praticien et l'hôpital ».

Poste de surveillance dans un service de réanimation cardio-vasculaire à l'hôpital de la Pitié. Un ordinateur peut mettre en mémoire les caractéristiques principales de chaque sujet.



Assistance publique - Département audio-visuel

MACHINES-TRANSFERTS ET UNITÉS AUTOMATIQUES

L'automatisation connaît aujourd'hui de très nombreuses applications ; elle tire son origine des études systématiques qui furent accomplies, dans les années vingt, par une grande fabrique d'automobiles afin d'éviter l'entassement désordonné de pièces semi-ouvrées entre une machine et une autre et le trajet trop long que devait parcourir chaque pièce pour subir les différentes opérations d'usinage. En premier lieu, on eut soin de disposer rationnellement les machines, pour que le trajet soit le plus court possible. Au stade suivant, on réalisa la synchronisation des différentes opérations, ce qui nécessita la création de machines d'une conception nouvelle ; ainsi, le temps d'usinage de chaque pièce aux différents postes de travail était le même et on évitait l'accumulation de pièces en attente.

Ensuite, on mit au point des dispositifs de transfert mécanique des pièces d'un poste de travail au suivant. Enfin, on réalisa la synchronisation de toutes les opérations, usinage et transfert, si bien que la pièce brute, introduite au début de la chaîne, en sortait entièrement finie. Telles sont les origines de la chaîne de transfert, aujourd'hui largement répandue dans les fabrications mécaniques de grande série, par exemple la fabrication des moteurs d'automobiles, des compresseurs pour les réfrigérateurs, des machines à coudre, etc.

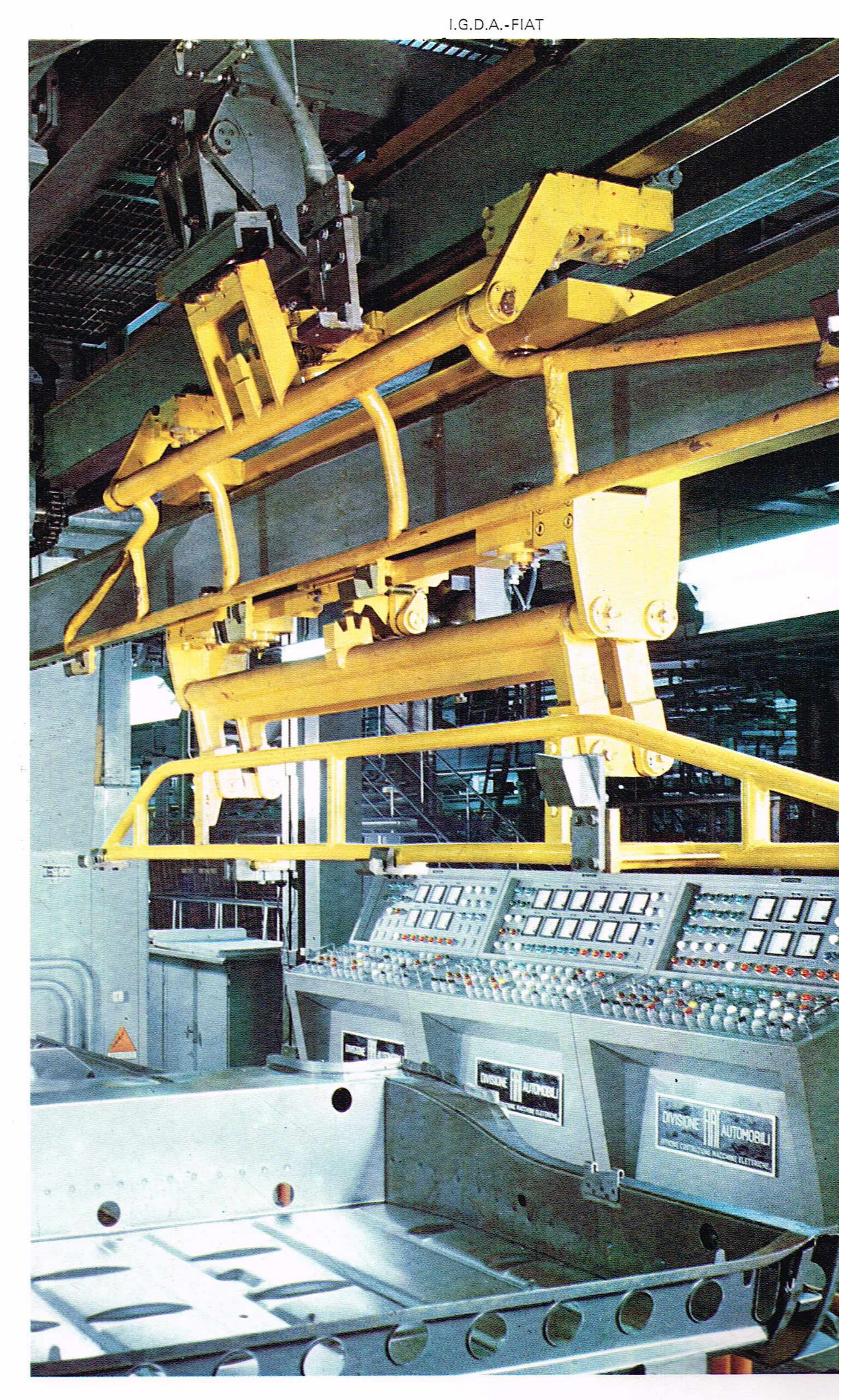
LA CHAINE DE TRANSFERT

Il ne faut pas confondre la chaîne de transfert avec la chaîne de montage où ce sont les ouvriers qui, placés le long de cette chaîne, effectuent une série d'opérations manuelles (un exemple typique est l'assemblage des postes de radio et de télévision) ; dans la chaîne de transfert, toutes les opérations sont automatiques, le rôle de l'homme se limite au simple contrôle technique, confié à un personnel spécialisé.

Le perfectionnement systématique des chaînes de transfert donna lieu à une amélioration progressive des techniques, grâce à la réalisation de dispositifs automatiques isolés ou groupés : dispositifs à fonctionnement électrique, pneumatique, oléodynamique et mécanique.

Des progrès très importants furent accomplis dans la période après-guerre ; on assista à une évolution vers une automatisation à peu près totale des unités de transfert. Une réalisation mémorable a marqué l'histoire de cette évolution, au début des années cinquante : l'U.R.S.S. construisit une fabrique de pistons pour moteurs d'automobiles entièrement automatique : les pièces brutes étaient introduites en début de chaîne, et en sortaient complètement finies, contrôlées et conditionnées en vue de l'expédition. La production était de quelques milliers d'unités par jour, tandis que le personnel de fabrication était réduit à cinq hommes. Mais des considérations à caractère économique vinrent modérer l'enthousiasme soulevé par de telles réalisations. En effet, pour concevoir une chaîne de transfert de grandes dimensions, il faut au moins un an d'études ; la réalisation et la mise au point demandent au moins une autre année. Donc, le coût des opérations préparatoires est toujours élevé. En outre, une chaîne de transfert est « rigide », car elle n'accepte pas de modifications (dans le mode de fabrication) de la pièce pour laquelle elle a été conçue (forme ou matériau utilisé) ; il s'ensuit que les grandes chaînes de transfert ne sont économiquement avantageuses que pour des productions de très grande série et seulement si les pièces ne subissent aucune modification pendant au moins cinq ans.

I.G.D.A.-FIAT



Machine-Transfert automatique pour la soudure par points du plancher de la Fiat 124 (Établissement Fiat-Mirafiori).

L'AUTOMATISATION FLEXIBLE

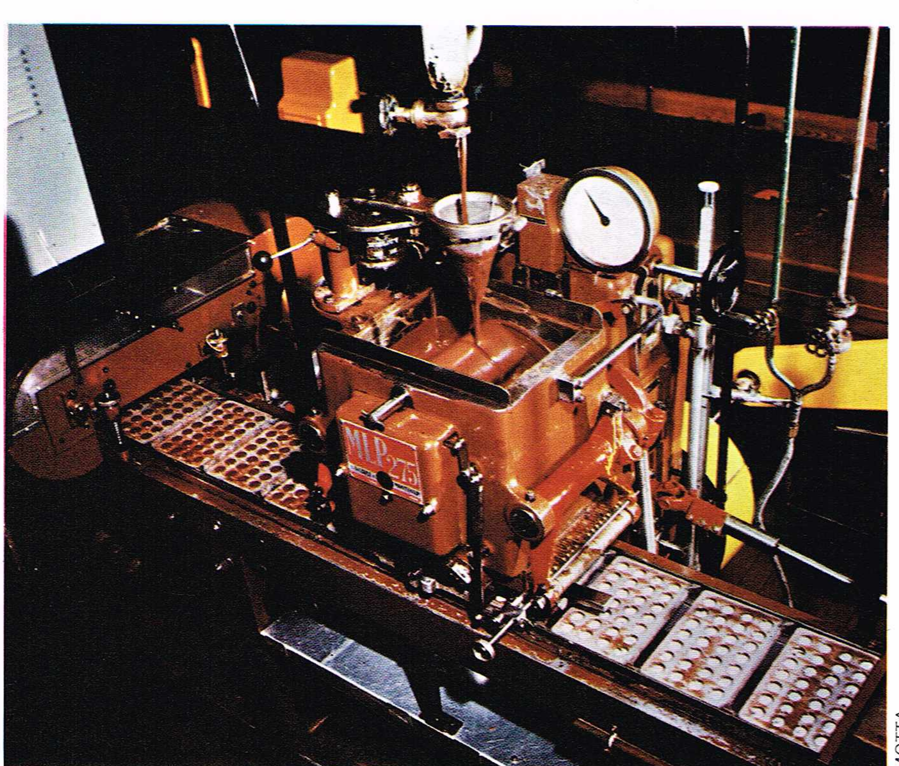
L'automatisation se développa à un rythme de plus en plus rapide dans de nombreux domaines. C'est ainsi que furent mises au point les machines dites flexibles, comportant de 5 à 10 postes de travail placés autour d'une table circulaire afin d'effectuer facilement les différentes opérations d'usinage sur une pièce, installée au centre sur un plateau support éventuellement tournant. Ces unités de travail peuvent être dissociées, ce qui permet de passer, en deux ou trois jours, à l'usinage d'une pièce différente ; elles se révèlent donc tout à fait adaptées aux séries ne dépassant pas quelques dizaines de milliers d'exemplaires, que ces séries soient uniques ou renouvelables au bout d'un certain temps. Ce type d'unités constitue l'un des résultats les plus intéressants dans le domaine de l'automatisation flexible.

La technique, de plus en plus avancée, des systèmes de régulation et de contrôle, dont le développement fut favorisé par les chaînes de transfert en général, contribua au perfectionnement des machines-outils isolées, qui bénéficièrent d'une automatisation croissante. C'est ainsi qu'on construisit des tours équipées de tourelle revolver, des perceuses multiples, des fraiseuses spéciales à fonctionnement entièrement automatique, exigeant seulement le chargement de la pièce brute et l'enlèvement de la pièce finie. Pour les tours fabriquant des pièces à partir d'une barre ou d'un tube, on a mis au point un système d'approvisionnement automatique, sans grande difficulté technique. La machine coûte quelques millions ; elle peut être adaptée en deux ou trois heures au travail de telle ou telle pièce, et un seul opérateur suffit pour surveiller le fonctionnement de quatre ou cinq unités. L'automatisation a gagné rapidement d'autres domaines ; elle permet la mise en route, la régulation et le contrôle d'installations soit peu importantes, comme le chauffage central domestique, soit complexes et de grandes dimensions, comme un laminoir, une papeterie ou une raffinerie.

Le fonctionnement de ces installations est assuré par des dispositifs automatiques de différents types, mécaniques, oléodynamiques, pneumatiques ou électroniques. La dernière décade a vu un développement impressionnant de ces dispositifs (surtout électroniques) qui ont bénéficié des progrès réalisés dans le domaine de la miniaturisation et qui sont désormais employés dans la régulation d'installations très importantes. Envisageons, à titre d'exemple, le dispositif électrique et électronique de régulation, de commande et de contrôle d'un grand laminoir moderne. Ce système est logé dans un certain nombre de consoles métalliques, hautes d'environ deux mètres et profondes d'environ un mètre, qui, disposées sur une même ligne, occuperaient une longueur d'une cinquantaine de mètres. On trouve à l'intérieur de ces consoles, reliés par un enchevêtrement de fils de différentes grosseurs, des centaines d'instruments de mesure et d'appareils (interrupteurs, transformateurs, relais, contacteurs, compteurs, etc.) et au moins un millier de modules électroniques à circuit imprimé, comportant chacun un grand nombre de composants (condensateurs, résistances, transistors, microbobines). Quelques-uns de ces composants électroniques, comme les circuits intégrés, constituent les plus récentes acquisitions dans le domaine de la miniaturisation ; de la taille d'un bouton, ils renferment cependant de très nombreux composants (résistance, transistors, petits condensateurs, etc.) sous un volume très réduit.

En dépit de cette miniaturisation, le contrôle d'une installation aussi imposante est facile et sûr, son fonctionnement étant rarement sujet à des pannes. Il est du reste facile de les détecter et de réparer, puisque l'ensemble de contrôle comporte des circuits spécialement affectés à la détection des pannes et à leur signalisation au moyen de signaux acoustiques et optiques. Le système défectueux est remplacé par un élément de réserve, toujours disponible. L'élément responsable est ensuite envoyé au laboratoire pour sa réparation. Une expérience maintenant très large permet d'affirmer que les pannes, même dans les microcircuits ou les microcomposants les plus complexes, sont extrêmement rares.

Façonnage automatique des tablettes de chocolat.



MOTTA

LES MACHINES A CONTROLE NUMÉRIQUE

L'automatisation des machines-outils tend à adopter de plus en plus, dans une nouvelle série d'applications, une technique qui utilise des fiches, des bandes perforées ou des bandes magnétiques pour communiquer à un ordinateur données, chiffres et programmes. C'est ainsi qu'il est devenu possible d'asservir une machine-outil ou un certain type d'installation à un dispositif de commande centralisée, qui lui impose l'exécution d'un programme de travail déterminé (séquence de mouvements, d'opérations, de traitements, etc.), selon le programme inscrit sur une fiche ou une bande perforée, ou encore enregistré sur une bande magnétique.

On peut, par exemple, équiper des fraiseuses avec de tels dispositifs : on met au point une machine pour l'usinage de plusieurs séries de pièces présentant une certaine similitude entre elles, et il suffit de passer d'une série à l'autre en changeant simplement la fiche perforée ou la bande magnétique. L'adoption de dispositifs de commande et de contrôle automatiques permit de réaliser des machines spéciales capables à la fois de percer, de fileter, d'aplanir, de fraiser, d'aléser, opérations exécutées par une série d'outils disposés sur une tourelle revolver. Ces machines sont munies d'un plateau porte-pièce mobile, commandé lui aussi par l'ensemble régulateur, qui assure la mise en place et le maintien de la pièce pendant l'usinage. Ensuite, la succession des différentes opérations se fait automatiquement, la fiche ou la bande perforée assurant la coordination de tous les déplacements de la pièce avec la rotation de la tourelle revolver qui la positionne en face de l'outil prévu. La vitesse et le mouvement de ce dernier sont aussi commandés automatiquement.

Des machines de ce genre, dites « à contrôle numérique », sont aujourd'hui les éléments essentiels du progrès technologique ; en effet, une seule unité peut effectuer un nombre élevé d'interventions différentes, qui exigeraient par ailleurs de nombreuses machines. Ainsi, même un nombre réduit d'unités, convenablement utilisées, permettent des productions importantes. Mais, pour que ces machines apportent des avantages économiques intéressants, il est indispensable de consacrer des études extrêmement poussées à leur conception et à la mise au point des programmes de travail ; de même, il faut modifier un certain nombre d'habitudes, changer et normaliser la forme des pièces, adopter de nouvelles méthodes de cotation des plans de construction, etc. Le coût d'un tel bouleversement est difficilement prévisible.

LES RAYONS X

Dans l'histoire des sciences, il n'est probablement pas de chapitre qui, mieux que celui des rayons X, illustre l'importance de la recherche pure pour les « retombées » pratiques qui peuvent en découler. Trois mois à peine après la découverte fortuite de Rœntgen, les rayons X trouvaient leur première application médicale dans un hôpital de Vienne lors d'une intervention chirurgicale. Et pourtant, au cours de ses expériences sur les tubes à vide et les anneaux d'induction, jamais Rœntgen ne se serait douté qu'il allait aboutir à une découverte aussi féconde pour la santé des hommes. En dehors des sciences appliquées, physiques et biologiques, les rayons X ont très largement contribué à la connaissance de la structure moléculaire et atomique de la matière et du mécanisme d'interaction entre le rayonnement et la matière.

Les rayons X nous fournissent une sorte de « supermicroscope » qui nous permet de « voir » non seulement les atomes, mais aussi leur arrangement dans les cristaux et même l'intérieur de l'atome. A ce titre, la découverte de Rœntgen mérite d'être rangée parmi celles qui ont marqué la naissance de la physique moderne, c'est-à-dire de la physique atomique et moléculaire qui étudie la structure intime de la matière et la nature de ses constituants les plus simples, les atomes, les noyaux et les particules subatomiques.

En 1895, Rœntgen (prix Nobel de physique en 1901), n'était pas en mesure de donner une explication complète de la nature des rayons X. Il était en effet occupé à étudier le passage d'une décharge électrique dans les gaz raréfiés et achevait l'examen des rayons émis dans ces conditions (appelés rayons cathodiques), étude qui allait aboutir à la détermination de la charge et de la masse des constituants atomiques tels que le proton et l'électron. Sur l'écran fluorescent employé pour la détection des rayons cathodiques, Rœntgen observa une luminosité verdâtre même lorsque le tube à vide de décharge était recouvert d'un papier noir. L'origine d'un tel phénomène était liée à l'existence de rayons bien différents des rayons cathodiques; il les appela rayons X *pour souligner leur nature inconnue.*

Différentes expériences le conduisirent à décrire les propriétés de ces rayons en termes purement qualitatifs : les rayons X sont invisibles; ils se propagent en ligne droite, ne sont déviés ni par les champs électriques ni par les champs magnétiques et par conséquent ne possèdent aucune charge électrique; ils traversent la matière, opaque à des radiations intenses; impressionnent la plaque photographique; provoquent la fluorescence de certains composés chimiques; ionisent les gaz qu'ils traversent et sont diversement absorbés par les différents corps. Ils sont produits chaque fois qu'un faisceau de rayons cathodiques rapides frappe une cible solide. Une partie de l'énergie cinétique des électrons qui constituent les rayons cathodiques est dissipée sous forme de chaleur, tandis qu'une faible fraction produit les rayons X.

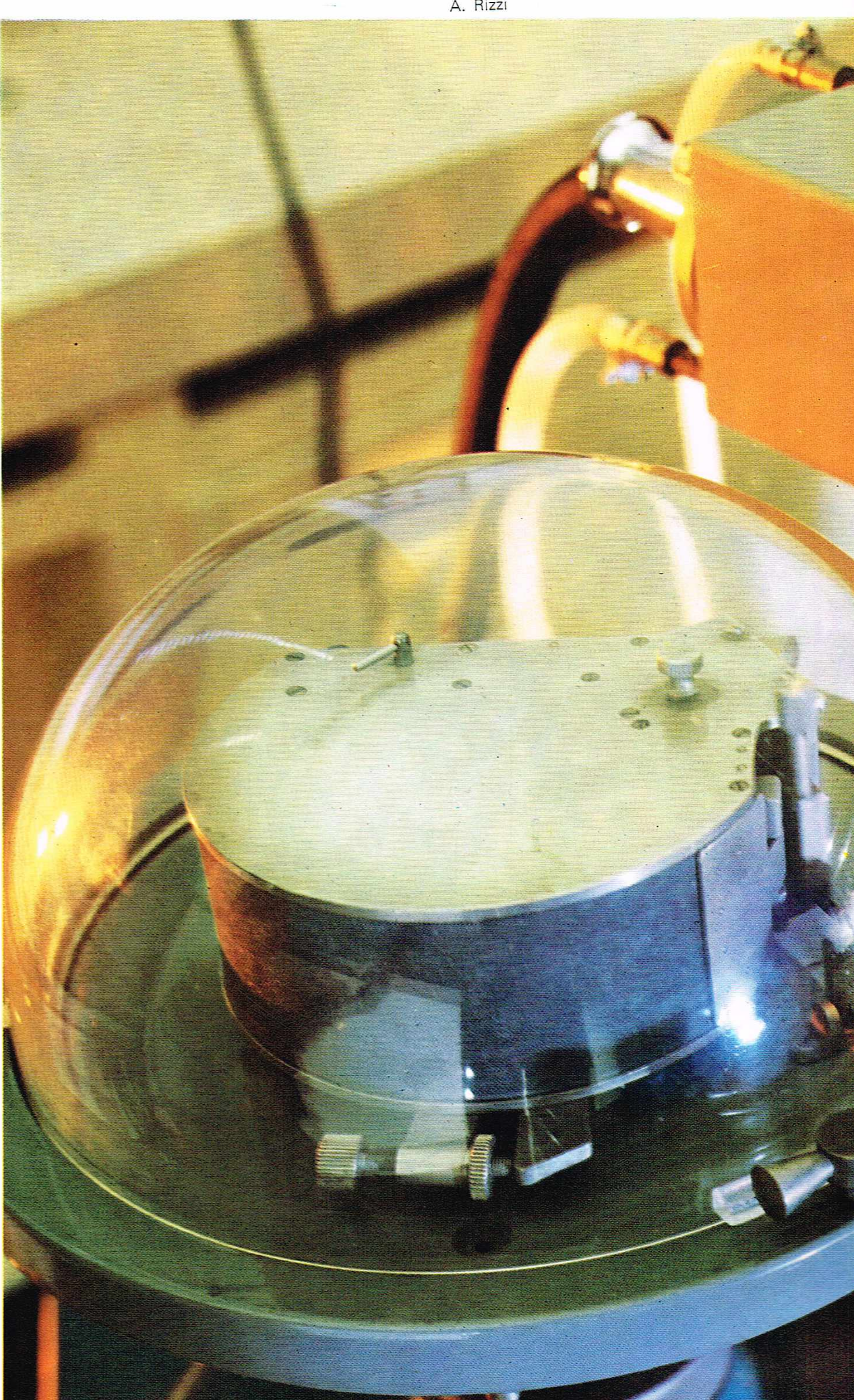
NATURE DES RAYONS X

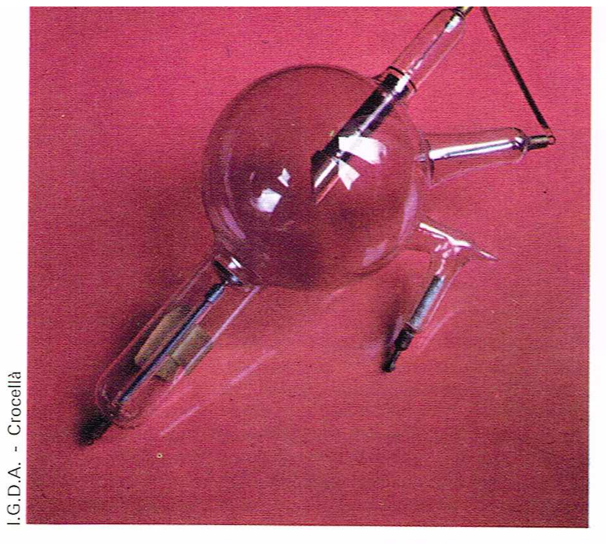
Elle peut être aujourd'hui clairement expliquée en termes d'ondes électromagnétiques; les rayons X occupent une bande étroite dans l'échelle des ondes électromagnétiques qui comprennent les ondes radio, les radiations visibles, les rayons ultraviolets, les rayons γ. Leur longueur d'onde est comprise approximativement entre 0,1 Å et 100 Å.

Pour comprendre leur nature, il faut se rappeler le modèle de l'atome de Bohr, selon lequel les électrons sont disposés autour du noyau sur des orbites que l'on peut, en première approximation, considérer comme circulaires. Les électrons occupent ces orbites à partir de la plus interne, puis se répartissent sur les orbites plus périphériques; par conséquent, le nombre d'orbites complètes dépend du nombre d'électrons de l'atome. Lorsqu'on fournit suffisamment d'énergie à un atome, un électron peut

Chambre à quatre foyers de Guinier, montée sur un générateur de rayons X.

A. Rizzi





I.G.D.A. - Crocellà

Un des premiers tubes à rayons X. En bas, tubes à rayons X à anode fixe pour faibles et moyennes puissances.

être expulsé d'une des orbites les plus internes ; l'atome se trouve alors dans un état excité. Un électron des orbites plus externes vient occuper la place laissée libre par le premier ; ce passage ramène l'atome à son état fondamental et donne lieu simultanément à l'émission d'une certaine quantité d'énergie $h\nu$ sous forme d'une radiation de fréquence ν, qui dépend des différentes orbites intéressées, et précisément de la différence d'énergie de liaison de ces mêmes orbites $E_1 - E_2 = h\nu$ (h est la constante de Planck).

L'analyse spectroscopique fournit donc une raie caractéristique dans le spectre des rayons X. Puisque les électrons constituant l'atome ne peuvent pas passer tous indifféremment d'une orbite à une autre, le spectre rayons X d'un élément est formé uniquement d'un petit nombre de raies. Un fait remarquable est que, selon la nature de l'atome frappé, on a un spectre différent de rayons X, ce qui permet de reconnaître le corps examiné par la position de ses raies caractéristiques. L'analyse spectrale est un moyen simple et sûr d'identification d'un élément, car le nombre et la répartition des raies dépendent du nombre atomique, c'est-à-dire du nombre de charges élémentaires positives contenues dans le noyau, comme le démontra Moseley en 1913.

Le tube à vide pour la production des rayons X est constitué par une ampoule de verre dans laquelle on pratique un vide très poussé ; l'ampoule comporte à ses extrémités deux électrodes, entre lesquelles on maintient une différence de potentiel élevée. L'électrode négative (cathode) émet des électrons par effet thermo-ionique, électrons qui, sous l'effet d'un champ électrique, viennent frapper une cible (anticathode), constituée généralement d'un matériau de poids atomique élevé. La vitesse, et donc l'énergie avec laquelle le flux électronique frappe la cible, dépend de la tension appliquée.

Les propriétés des rayons X, intensité et dureté, dépendent de la tension appliquée au tube et du matériau dont est constituée l'anticathode. Un examen minutieux de la composition spectrale des rayons X nous montre qu'ils sont formés de deux types de radiations :

— des raies (monochromatiques) caractéristiques du métal choisi pour anticathode ;

— un fond continu qui ne dépend que du voltage.

La longueur d'onde minimale λ_m de ce fond continu est donnée par : $\lambda_m . V = 12\,340$, où λ est en angströms et V en volts.

Quand on sait l'ordre de grandeur de la longueur d'onde des rayons X, on comprend sans peine combien il est difficile d'observer des phénomènes de diffraction. On en obtient cependant à l'aide de réseaux beaucoup plus fins que ceux employés pour la lumière. C'est à Laue que l'on doit les premières figures de diffraction en disposant un cristal sur le trajet d'un faisceau de rayons X. Laue démontra que la figure obtenue ne pouvait provenir que de la diffraction d'un ensemble de centres de diffraction disposés selon une structure cubique.

En employant différentes substances cristallines, on observe que les figures de diffraction obtenues sont liées à la disposition des atomes et à la position des plans cristallins. Les travaux de Laue et Bragg sont à l'origine d'une technique aujourd'hui fort répandue pour l'identification des substances cristallines. Cette technique repose sur le fait que chaque substance donne à l'analyse aux rayons X une figure de diffraction caractéristique, résultant de la structure du cristal ; il est en outre possible, en présence d'un mélange de plusieurs substances, d'identifier les diverses figures par comparaison avec les diffractogrammes fournis par des substances connues.

Une telle méthode présente l'avantage d'éviter la destruction de la substance, comme cela se produit avec l'analyse chimique. Des substances différentes possédant la même structure cristalline donnent, aux rayons X, des diffractogrammes semblables, mais avec de légères différences en ce qui concerne l'espacement et l'intensité des lignes, dues aux différences de taille des atomes du cristal.

QUELQUES APPLICATIONS DES RAYONS X

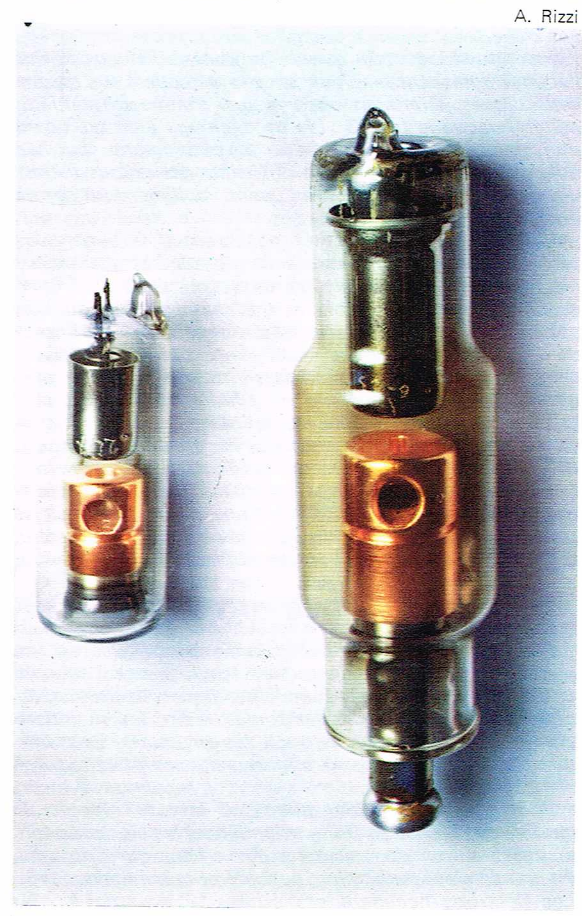
Il existe bien d'autres applications des rayons X. Citons, par exemple, l'analyse des matériaux bruts et des produits finis. En métallographie, les rayons X servent à révéler des états de tension interne ou des ruptures de continuité à l'intérieur des produits finis. La radiographie est un procédé courant pour le contrôle des soudures et des fusions.

Mais c'est en médecine que les rayons X trouvent leur principale utilité. On distingue deux utilisations essentielles : le diagnostic radiologique et la radiothérapie. La radioscopie et la radiographie sont deux techniques fondées sur les différences de transparence des tissus de l'organisme aux rayons X. Les images sont reçues sur des substances sensibles aux rayons X (écran ou plaque photographique). Ainsi le squelette est observable dans des conditions de contraste idéales pour déceler des fractures, des malformations osseuses ou toute autre lésion.

Lorsque les différences de transparence des tissus ne permettent pas d'obtenir une image suffisamment nette, on administre au patient, par voie orale ou par injection intraveineuse, des substances dites « de contraste », facilitant l'exploration dans les organes.

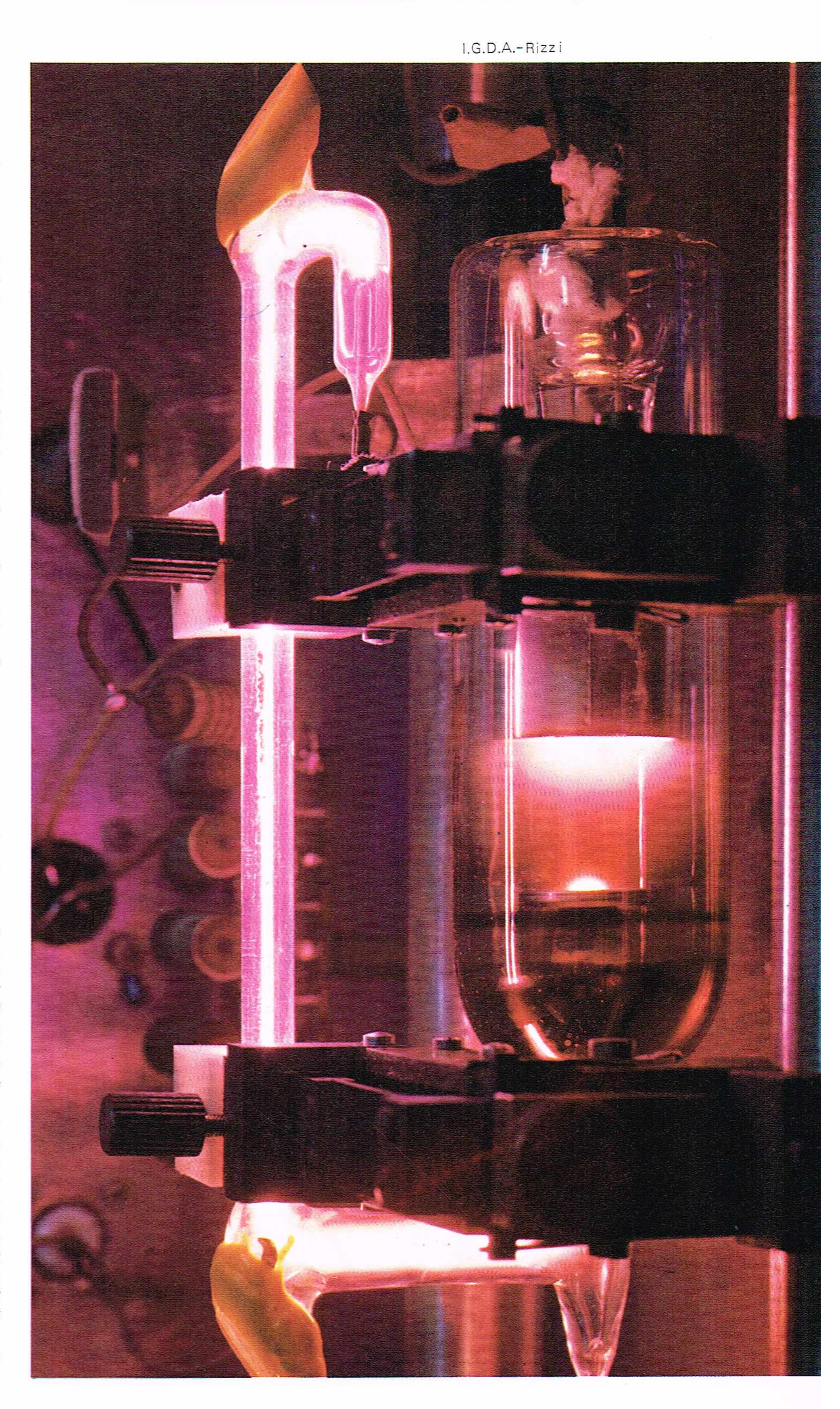
Quant à la radiothérapie, elle est fondée sur la propriété des rayons X d'être ionisants et de provoquer la mort ou l'arrêt de prolifération des cellules malignes ; aussi les emploie-t-on efficacement pour détruire les tissus malades.

A. Rizzi



APPLICATIONS DU LASER

I.G.D.A.-Rizzi



Dix ans après sa naissance, le laser connaît déjà une production en série et des applications très larges, allant de l'industrie à la médecine. Il y a seulement quelques années, les modèles de laser étaient peu nombreux, mais aujourd'hui on a mis au point des modèles aux caractéristiques bien définies, qui permettent des utilisations plus vastes dans des domaines nouveaux, dont quelques-uns sont déjà explorés à fond.

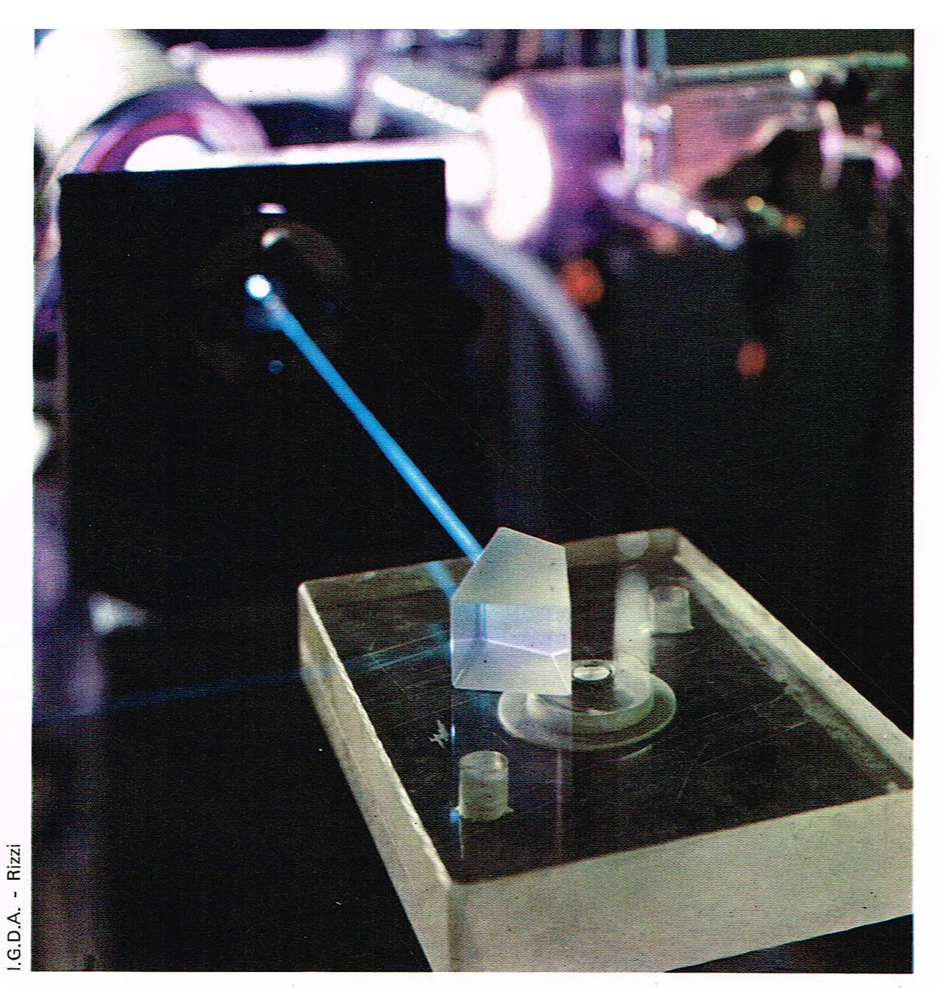
Parmi ces modèles, on trouve le laser de type « solide » à rubis ou à néodyme, et de type « gazeux », au néon, argon, azote, anhydride carbonique. D'une manière générale, les lasers à gaz sont à rayonnement continu, tandis que les lasers à cristal émettent des impulsions de durée très courte (de l'ordre de la microseconde ou même de la nanoseconde) qui peuvent être répétées à des intervalles rapprochés. Les lasers à gaz sont couramment utilisés pour réaliser des opérations d'alignement ; ils émettent un rayon intense, continu, très mince, au diamètre pratiquement inchangé, qui constitue un axe d'alignement immatériel et précis. C'est ainsi que, en utilisant des dispositifs très simples, on peut aligner d'une manière rapide des machines de grandes dimensions, opération qui, sans ce système, exigerait beaucoup plus de temps et des moyens beaucoup plus complexes. Un tel procédé est employé pour les machines-outils depuis plusieurs années déjà ; l'application la plus significative dans ce domaine a été l'alignement des différents éléments qui constituent l'accélérateur linéaire de Standford, réalisé avec une tolérance d'un demi-millimètre sur une longueur d'environ trois kilomètres. Jamais avec les moyens conventionnels, on n'aurait pu réaliser une telle opération avec une aussi grande précision. Le laser est aussi couramment employé pour réaliser des alignements dans les grands ouvrages de génie civil, comme, par exemple, le creusement de tunnels.

LE LASER DANS LA MINIATURISATION ET EN MÉDECINE

Le laser joue désormais un rôle décisif dans le domaine de la miniaturisation, c'est-à-dire pour la construction de circuits miniaturisés, de circuits intégrés, de microcomposants de type électrique, électronique ou mécanique. Les montres, ainsi que de nombreux instruments de précision, exigent l'emploi de « rubis » comme coussinets pour recevoir des axes d'un diamètre de plus en plus réduit, afin de réduire au minimum les frottements. Pour forer ces rubis, on emploie des lasers à impulsion, d'un maniement très simple et d'un coût assez réduit, capables de fonctionner pendant des années pratiquement sans entretien ; c'est pour ce motif que le prix des rubis pour l'horlogerie et les micro-appareils a connu une baisse très considérable. La même technique sert à réaliser des filières pour le tréfilage et le calibrage des fils métalliques très minces employés par l'électronique et l'électrotechnique miniaturisées.

Dans le domaine des fibres textiles artificielles, on emploie des filières comportant des trous multiples, espacés et calibrés avec précision. Ces filières coûtent aujourd'hui beaucoup moins cher qu'autrefois, parce que le forage est exécuté au laser. Dans le domaine de la miniaturisation, le laser trouve bien d'autres applications, même dans des ensembles industriels qui travaillent en grande série. En employant une impulsion laser soigneusement dosée, ou une série d'impulsions, on peut réaliser sur n'importe quel type de métal une microsoudure régulière et sûre, même dans une production de série, puisqu'on est

Laser au néon stabilisé en fréquence (Laboratoires CISE, Segrate).



I.G.D.A. - Rizzi

Laser à argon ionisé; détail du prisme qui dévie et décompose le faisceau laser (Laboratoires CISE, Segrate).

capable d'adapter l'impulsion d'une manière parfaite aux situations les plus diverses. Tous les conducteurs à la sortie des microcomposants électroniques, microrelais, semi-conducteurs, condensateurs, etc., sont soudés à l'élément actif du composant à l'aide du laser. Celui-ci est également employé dans certains types de circuits intégrés pour réaliser des microcoupes et pour étalonner avec le maximum de précision la pièce achevée. Dans la pratique de la micromanipulation, le laser est souvent associé au microscope, ce qui permet à l'opérateur, en se servant de systèmes de déplacement micrométriques et de repères optiques, de placer les pièces à souder ou à travailler avec une extrême précision et de voir directement les résultats de son travail au laser. On tend aujourd'hui à réaliser des lasers plus puissants, à fonctionnement continu ou intermittent, afin de pouvoir appliquer une telle technique à des pièces de plus grande taille et d'obtenir la fusion ou la sublimation des métaux d'une manière plus efficace que ne le permettent les lasers actuels.

Le laser a été également adopté dans les interventions chirurgicales, surtout au niveau de l'œil; un exemple typique d'application est celui du traitement du décollement de la rétine, que l'on réalise avec des microcautérisations obtenues en employant un laser à impulsion; on a également tenté de traiter certaines tumeurs superficielles avec ce même moyen, et on étudie actuellement la possibilité d'employer le laser comme microscalpel hémostatique.

Le laser à impulsion permet d'effectuer des recherches biologiques sur des tissus et des organismes vivants, recherches qu'il ne serait pas possible d'effectuer à l'aide du seul microscope. Le rayon laser peut être focalisé sur des zones très petites, d'un diamètre de l'ordre du micron; il devient ainsi possible d'agir au niveau de la cellule et même des constituants cellulaires, par exemple sur un chromosome. Ces interventions sont effectuées sous le contrôle direct, visuel, du chercheur.

La possibilité de focaliser le rayon et d'en concentrer l'énergie sur une zone très réduite et pendant un temps extrêmement court, ce qui évite la diffusion de la chaleur autour du point d'impact, est une donnée capitale tant pour les applications technologiques que médicales et biologiques.

LES APPLICATIONS FUTURES DU LASER

Dans un proche avenir, le laser connaîtra de nouvelles applications. Un rayon émis par un laser au néodyme permet une visibilité sous l'eau d'environ un kilomètre, tandis que les sources lumineuses conventionnelles ne permettent de voir qu'à quelques mètres. Il est déjà possible, à bord d'un avion, de détecter des zones de turbulence atmosphérique à une distance considérable, par ciel serein. Des études d'une importance capitale sur le comportement du plasma, impossibles à effectuer avec les moyens classiques, ont pu être entreprises grâce au laser. Des appareils télémétriques au laser réalisent des mesures très précises sur terre, dans l'atmosphère et dans l'espace.

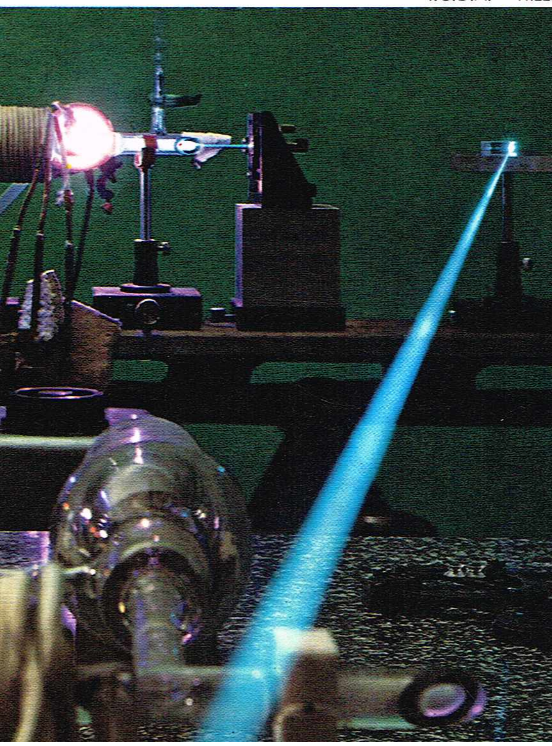
Il est très vraisemblable que le laser connaîtra des applications très intéressantes dans le domaine des télécommunications. Un rayon laser présente simultanément toutes les caractéristiques d'un rayon optique et d'une perturbation électromagnétique, bien que de fréquence extrêmement élevée; il se prête donc à être « modulé » ou « manipulé » de différentes manières, lui faisant jouer en quelque sorte un rôle d' « onde porteuse », capable d'acheminer des informations. Un rayon laser même de faible puissance est « visible » sur une très longue distance, car son rayon augmente très peu en s'éloignant de la source qui l'a engendrée. Par conséquent, la dispersion est faible et cette propriété favorise, à l'instar de ce qui existe en matière de transmissions radio, les transmissions par laser de directivité rigoureuse et peu sujettes à perturbation. On a pu diriger un rayon laser sur la Lune et le capter après réflexion.

Il y a tout lieu de penser que le laser connaîtra aussi d'intéressantes applications en chirurgie dentaire. En effet, en se servant de rayons lasers partiellement focalisés, il est possible de « vider » une carie sans chauffer le tissu environnant; dans la cavité ainsi nettoyée, le laser permettra de faire fondre de la porcelaine ou des métaux très résistants en vue de son obturation. Des expériences sont en cours pour traiter les caries superficielles en faisant fondre la couche superficielle de l'émail dentaire de manière à combler et recouvrir la cavité.

Dans le domaine spatial, les liaisons laser s'imposeront de plus en plus, compte tenu de la distance croissante atteinte par les engins cosmiques, car le rayon laser, en raison de sa directivité très précise, permet d'envoyer toutes sortes de messages sur des distances cosmiques. Dans bien d'autres domaines, le laser pourrait remplacer les dispositifs existants et le seul obstacle qu'on rencontre est lié au coût; celui-ci se réduira progressivement à mesure que les emplois du laser s'étendront et s'intensifieront.

Laser à argon ionisé; le faisceau émis est renvoyé par un prisme vers l'observateur (Laboratoires CISE, Segrate).

I.G.D.A. - Rizzi



SATELLITES DE TÉLÉCOMMUNICATIONS

Archives Radaelli



L'emploi de ces satellites a été récemment vulgarisé, à l'occasion des liaisons directes de télévision. Cette réalisation spectaculaire de la technique moderne a permis à des centaines de millions de personnes de suivre « en direct » la descente des premiers cosmonautes sur le sol lunaire. Cependant, ce n'est pas tant leur intérêt comme relais de transmission des émissions de télévision qui explique l'existence et la multiplication prochaine de ces satellites, que l'augmentation continue et rapide des communications intercontinentales sur longue distance.

De nos jours, il serait difficile, sinon au prix de difficultés techniques énormes et de dépenses colossales, de se dispenser des satellites artificiels pour réaliser les télécommunications sur grande distance, dont le nombre croît au rythme d'environ 20 % par an. En effet, le progrès exige des liaisons à grande distance de plus en plus nombreuses pour canaliser le flot de communications.

Les moyens classiques, téléphone et radio, ne sont plus capables de faire face à une tâche aussi imposante. Aux débuts de la téléphonie, un câble simple ne pouvait véhiculer qu'une seule conversation, alors qu'un câble multiple pouvait en transmettre simultanément une vingtaine. Après la Première Guerre mondiale, on vit la naissance des câbles coaxiaux et le début des communications téléphoniques sur des fréquences porteuses. Cette technique consiste à « moduler » une radiofréquence suivant un procédé emprunté à la technique radio et à la « démoduler » à l'arrivée, éventuellement après amplification. L'installation se complique du fait qu'il faut disposer de centrales spéciales pour engendrer les fréquences porteuses, les moduler au départ et les démoduler à l'arrivée, ainsi que de câbles d'un type particulier et très coûteux. Mais il devient possible de faire passer à travers un seul câble un nombre important de conversations simultanées (1 000 à l'aller et 1 000 au retour) sans interférer l'une avec l'autre.

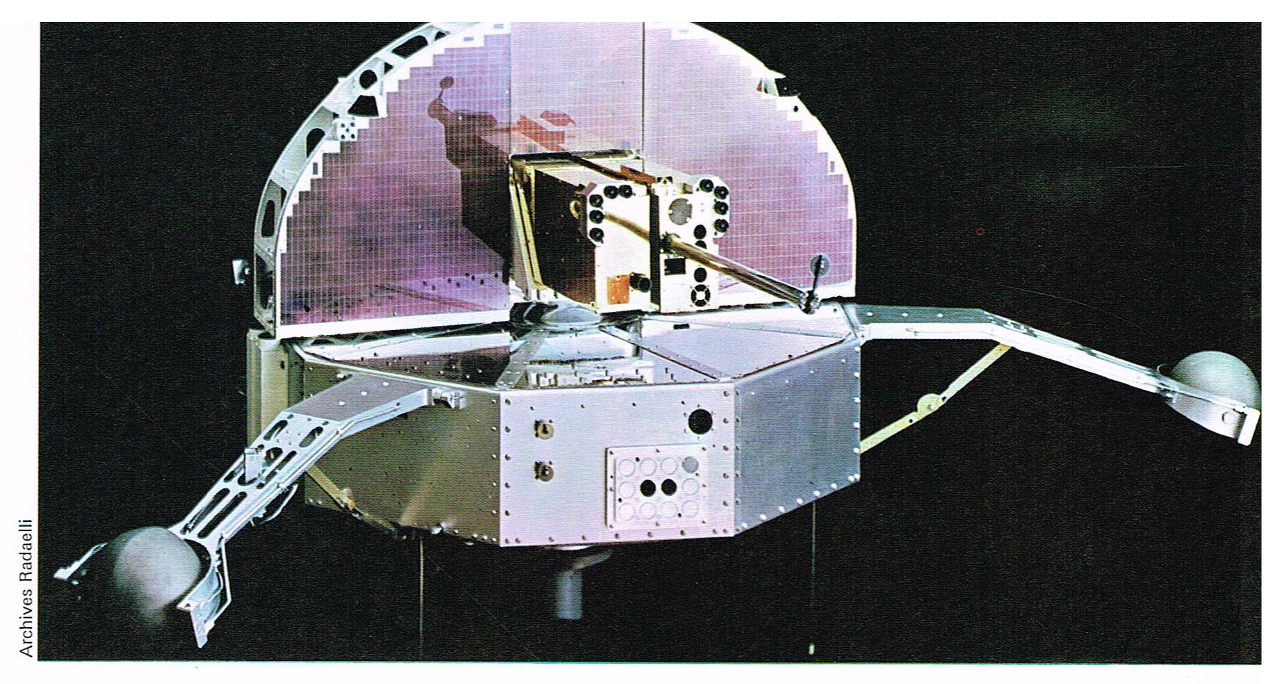
Ce procédé permit de réaliser des progrès considérables et de renforcer de manière impressionnante les réseaux téléphoniques nationaux et internationaux, mais il se révéla limité face à l'augmentation des télécommunications sur longue distance. Les dix dernières années ont vu la diffusion des téléscripteurs : mais ces derniers ont besoin eux aussi de câbles téléphoniques pour véhiculer les impulsions nécessaires au codage des lettres frappées sur la bande de papier par l'appareil récepteur.

A PEINE 3 000 CANAUX DISPONIBLES

Les ondes hertziennes possèdent la caractéristique d'être réfléchies par la ionosphère sans déformations importantes; il est ainsi possible de recevoir une transmission émise par une station qui demeure « cachée » par la courbure terrestre. En utilisant une double ou une triple réflexion par la ionosphère, il est même possible de réaliser des liaisons entre localités situées aux antipodes. La fameuse expérience de Marconi, qui réalisa la première liaison radio Europe-Australie, en est une illustration historique.

Mais même les transmissions radio subissent les effets de l'« embouteillage » dû à la multiplication des communications. Deux transmissions radio interfèrent, c'est-à-dire se brouillent réciproquement, si les fréquences utilisées diffèrent entre elles de moins de 10 000 périodes (10 kilohertz). Puisque la bande des « ondes moyennes » est réservée aux émissions radio normales, on ne peut utiliser, dans le domaine des ondes courtes, que des fréquences allant d'environ 1 500 000 cycles (1,5 mégahertz) à environ 30 000 000 de cycles (30 mégahertz). Les fréquences

Le satellite Intelstat II, placé sur une orbite synchrone ; il joue le rôle de station réceptrice et émettrice de signaux télévisuels, téléphoniques et télex.



Archives Radaelli

Satellite de télécommunications Telstar II. Les Telstar ont permis de réaliser les premières liaisons de télévision par satellite entre l'Amérique et l'Europe.

supérieures à 30 mégahertz ne sont pas utilisables pour des liaisons terrestres, car elles « trouent » la ionosphère, c'est-à-dire la traversent sans être réfléchies. La nécessité d'utiliser des fréquences échelonnées de 10 en 10 kilohertz réduit donc le nombre de fréquences disponibles à environ 3 000. Les « canaux » disponibles (un canal définit une bande de fréquence de 10 kilohertz « occupée » complètement par une émission radio) pour les transmissions à longue et moyenne distance sont donc au total 3 000, et c'est par ces canaux que devraient être acheminées les « transmissions à ondes courtes » d'intérêt public, les radiocommunications des navires, des avions, ainsi que toutes les communications radiotéléphoniques sur longue distance et intercontinentales. Le développement croissant des communications et l'augmentation des navires et des avions ont fait que ces 3 000 canaux sont devenus notoirement insuffisants.

LE SATELLITE « STATIONNAIRE »

Le satellite artificiel de télécommunications apporte une solution nouvelle à ce problème. Un satellite artificiel voyage sur une orbite située en dehors de l'atmosphère : il est dit « stationnaire » si sa révolution correspond à 24 heures. Un satellite de ce type, placé sur une orbite à une altitude d'environ 36 000 kilomètres, demeure toujours au-dessus de la même localité terrestre. A bord d'un satellite de télécommunications se trouve une station-relais, dérivée de celles qu'on emploie en télévision, capable de recevoir un signal transmis sur une fréquence donnée et de le retransmettre après l'avoir porté sur une fréquence différente, afin d'éviter des interférences entre la transmission à l'arrivée et la transmission au départ.

Un tel satellite est relié, de manière permanente ou intermittente, avec deux stations très éloignées, situées soit sur le même continent, soit sur deux continents différents. Les stations terrestres que le satellite emploie, tant en transmission qu'en réception, possèdent des antennes directionnelles, c'est-à-dire capables de diriger un faisceau d'ondes avec une précision suffisante; il s'agit en somme de la même technique que dans les « ponts-radio ».

Si l'on dispose d'une station-relais à bord d'un satellite situé en dehors de la ionosphère, les fréquences utilisables sont supérieures à 30 mégahertz, c'est-à-dire capables de traverser dans les deux sens la ionosphère sans distorsion. La bande de fréquence ainsi disponible devient donc très vaste : en utilisant simplement une bande de 30 à 60 mégahertz, on disposerait d'autant de canaux que ceux qui s'étagent sur la bande entière des ondes courtes. Puisque les fréquences utilisables avec les satellites artificiels s'étendent jusqu'à 10 000 mégahertz et au-delà, les canaux disponibles sont au nombre de plusieurs dizaines de milliers.

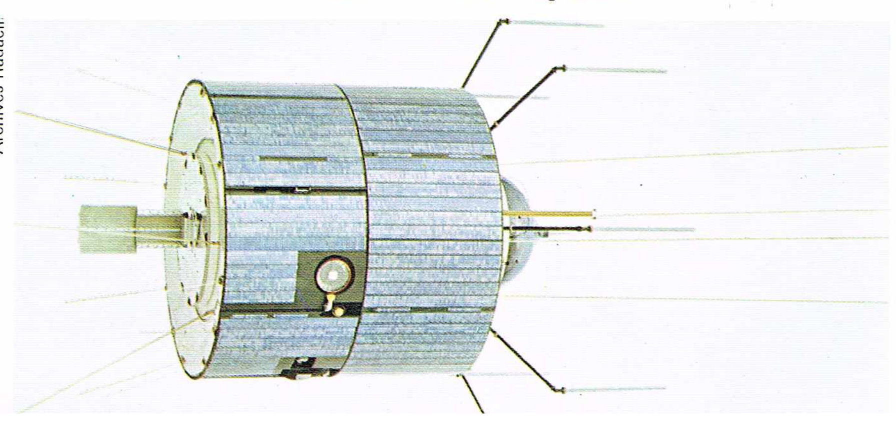
Le nombre des satellites de télécommunications qu'il est possible de mettre en orbite est élevé; en outre, sur chacun d'eux, il est possible d'installer des appareils complexes, capables d'opérer sur différentes fréquences, de telle sorte qu'un seul satellite peut acheminer simultanément 10 000 télécommunications différentes et même plus.

« VIE ACTIVE » ET COUT D'UN SATELLITE

Chaque satellite, surtout s'il est du type « stationnaire », est facilement maintenu en liaison avec deux stations terrestres grâce à une orientation convenable de leurs antennes à la forme parabolique si caractéristique. Le satellite est muni lui aussi d'antennes de forme parabolique, d'un diamètre plus petit, et d'un dispositif d'orientation commandé par des gyroscopes ou de petits moteurs-fusées. Le point servant de référence à l'orientation du satellite peut être l'horizon terrestre, le Soleil, une étoile : l'intervention du dispositif d'orientation peut être soit automatique, soit asservie à un ordre provenant de la Terre. Les antennes de bord des satellites peuvent être comparées à un parapluie, dans lequel le tissu de soie serait remplacé par une trame de minces fils métalliques : cette sorte de parapluie, qui demeure fermé lors de la traversée de l'atmosphère, s'ouvre une fois que le satellite s'est stabilisé en orbite et prend sa forme parabolique caractéristique, la plus apte à permettre l'émission d'un faisceau d'ondes avec une faible dispersion.

Ces satellites artificiels n'ont pas une vie illimitée. Les systèmes d'orientation et les appareillages radio exigent une puissance importante qui ne pourra pas être indéfiniment fournie par les cellules solaires dont ils sont équipés : les gaz nécessaires au fonctionnement du dispositif d'orientation, lorsque celle-ci utilise des moteurs-fusées, finissent par s'épuiser : enfin, les composants électroniques s'usent au bout d'un certain nombre d'heures de fonctionnement. Actuellement, la « vie active » d'un satellite artificiel est de l'ordre de quelques mois. Mais le coût de sa mise en orbite est relativement réduit, puisqu'on peut utiliser un missile de faibles dimensions, à propergol solide, lancé d'un cosmodrome secondaire.

Satellite ATS B (Applications Technology Satellite B). Il fut réalisé par la NASA pour servir de laboratoire spatial aux techniques les plus avancées dans le domaine des communications spatiales, de la photographie spatiale, de la météorologie, etc.



Archives Radaelli

LES MISSILES TACTIQUES

Les missiles ou fusées sont sujets à de nombreux articles dans la presse, non seulement à l'occasion des entreprises spatiales, mais aussi lors des conflits armés et du maintien de l'équilibre militaire entre les différentes puissances.

Certaines expressions sont ainsi entrées dans le langage courant, presque toutes sous forme de traductions de termes anglo-saxons, dont la signification n'est pas toujours très explicite, comme missiles air-air, missiles balistiques *ou* missiles sol-sol.

La caractéristique essentielle d'un missile consiste en un système de propulsion à réaction, entièrement autonome, c'est-à-dire n'utilisant aucun élément contenu dans l'atmosphère. Pour réaliser ce type de propulsion, le missile transporte un « propergol » constitué soit de deux liquides, qui, en se mélangeant dans les chambres de combustion, réagissent chimiquement et donnent naissance à des gaz et à de l'énergie calorifique, soit par un mélange solide homogène de plusieurs composants qui, une fois mis à feu, continue à « brûler » (même dans le vide ou sous l'eau) suivant une réaction équivalente aux propergols liquides. Un système de ce type peut servir à la propulsion d'un avion, mais il est surtout utilisé pour porter à une vitesse importante et dans un temps très court une « charge utile ». Dans le cas de missiles vecteurs de grandes dimensions, utilisés dans les entreprises spatiales, cette charge est constituée par une capsule ou une sonde spatiale ou tout autre engin d'études. En revanche, dans le cas des missiles tactiques, en principe de dimensions beaucoup plus réduites, la charge utile est formée d'une certaine quantité d'explosif (bombe thermonucléaire par exemple) ou par une tête perforante, qui, grâce à la vitesse très élevée acquise par le projectile, alliée à une charge de poudre, est capable de traverser d'épais blindages.

Les emplois militaires des missiles sont plus anciens qu'on pourrait le penser : on employait déjà des missiles non seulement en Extrême-Orient, qui fut sans doute le lieu de naissance de la pyrotechnie, mais aussi en Europe, pendant toute la période de la Renaissance. En effet, à cette époque, des fusées rudimentaires mais de dimensions notables furent utilisées, lors des sièges des villes fortifiées ; ces fusées permettaient de lancer des projectiles de toute nature sur les assaillants. Il s'agissait de gros tubes métalliques remplis de poudre noire et munis d'une tête explosive ; ces « missiles » étaient extrêmement imprécis et explosaient souvent sur leur affût ou immédiatement après leur lancement. Ils furent progressivement abandonnés, car l'artillerie proprement dite se développait, grâce aux progrès de la métallurgie.

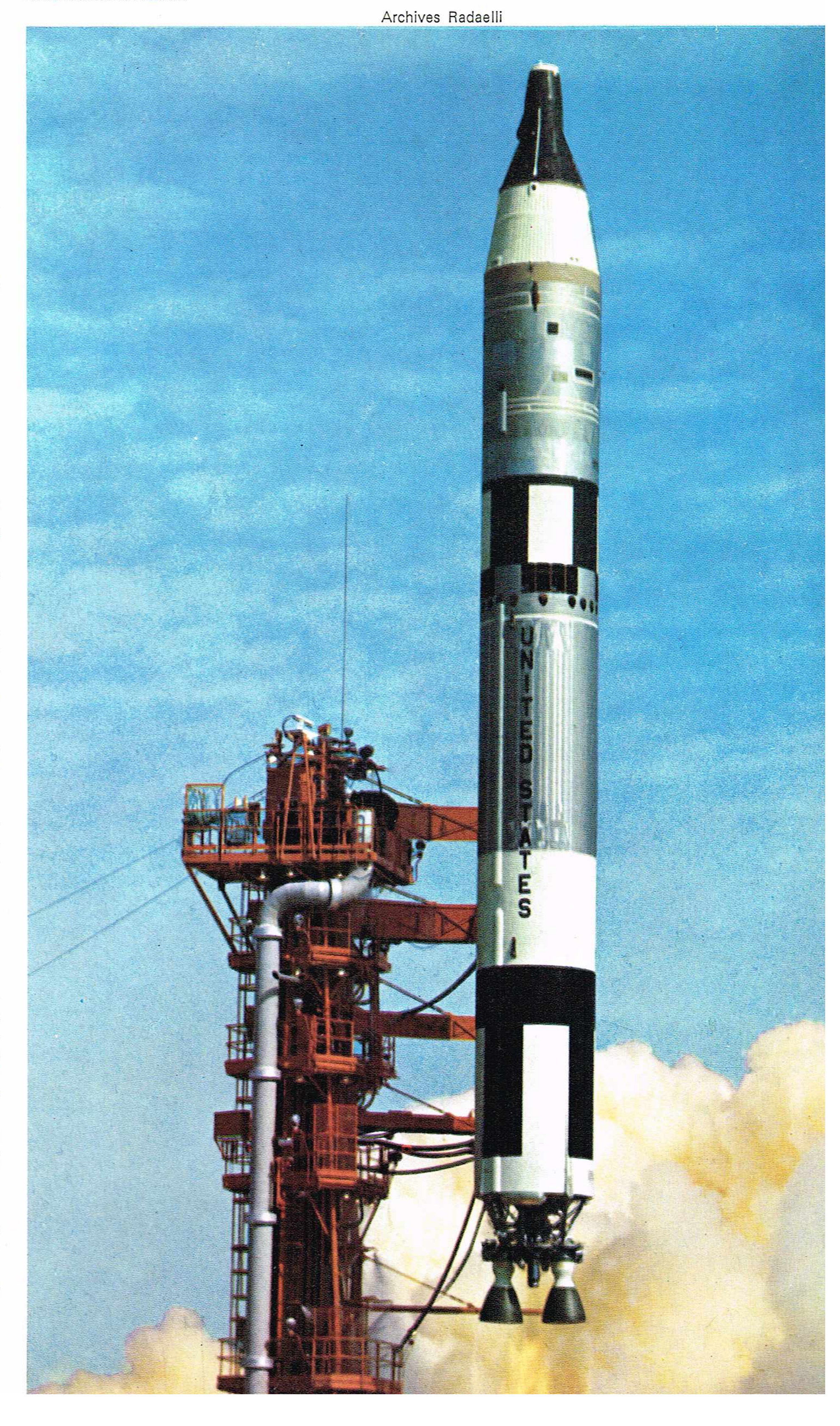
L'ÉVOLUTION DE LA SCIENCE DES MISSILES

Au cours de la Seconde Guerre mondiale, on assista au développement des missiles tactiques. Les Américains et les Soviétiques intensifièrent pendant toute la durée du conflit l'emploi de missiles antichars, lancés par un affût tubulaire léger et facilement transportable. Le « bazooka » américain et le « fusil antichar » soviétique exploitaient l'un et l'autre la caractéristique essentielle de la fusée : son accélération extrêmement rapide. Un projectile de ce type est capable de perforer le blindage d'un char en liquéfiant partiellement le métal de la zone d'impact.

Les Soviétiques employèrent les célèbres « katiouschka », missiles de moyenne portée dotés de têtes explosives, lancés par salves de cinq à sept à l'aide de tubes spéciaux transportés à dos d'homme, traînés par des véhicules légers, ou montés sur des engins automoteurs à chenilles. Ces armes avaient une puissance de feu exceptionnelle et

Titan II : **un des plus puissants missiles balistiques intercontinentaux.**

Archives Radaelli



constituaient un appoint très utile à l'artillerie traditionnelle. Dans les deux dernières années du conflit, des unités légères de la marine soviétique et américaine furent équipées de rampes de lancement de missiles à la place des canons classiques de petit et moyen calibre. Vers la fin du conflit les Allemands utilisèrent contre le territoire britannique les V 2, missiles de grande taille capables de transporter environ une tonne d'explosif à une distance de 100 à 200 kilomètres. Ce type d'armement a bénéficié de perfectionnements nombreux au cours des vingt dernières années et a démontré, dans divers conflits, sa redoutable efficacité.

De leur côté, les gros missiles dérivés des V 2 connurent aussi des perfectionnements notables et donnèrent naissance à la génération des missiles balistiques intercontinentaux, capables de transporter à une distance de 6 à 7 000 kilomètres une tête chargée d'un explosif de type nucléaire d'un poids de plusieurs tonnes; la précision atteinte est de l'ordre de 10 à 20 kilomètres. Leur rayon d'action et leur énorme pouvoir destructeur ont valu aux missiles intercontinentaux le nom d'« arme absolue ». Les plus grandes puissances disposent aujourd'hui de missiles capables d'atteindre une cible choisie après avoir parcouru une trajectoire quelconque, susceptible d'être modifiée à volonté pendant le vol et souvent très éloignée de la trajectoire directe. Il est ainsi devenu pratiquement impossible d'interposer des systèmes de surveillance ou de défense entre les zones de lancement (plus ou moins universellement connues) et les cibles présumées. En outre, on est parvenu à installer des missiles avec leur rampe de lancement, sur des satellites artificiels, ce qui permet d'atteindre n'importe quel point du globe par un simple ordre radio envoyé du sol. La prolifération de ces armes de plus en plus dangereuses a amené Soviétiques et Américains à rechercher un accord en vue de leur limitation ; en effet, toute défense semble désormais impossible et, d'autre part, cette course aux armements est ruineuse pour l'équilibre économique des différents pays.

Missile sol-air *« Hawk »*, lancé depuis une base mobile.



Archives Radaelli

MISSILES DE MOYENNES ET PETITES DIMENSIONS

Des missiles à courte portée, pouvant être lancés par des rampes très légères, ont souvent remplacé les mortiers de tranchée, à cause d'une efficacité tout aussi grande pour une maniabilité bien supérieure. Ces missiles sont dits sol-sol, puisqu'ils sont lancés depuis une rampe terrestre vers une cible également terrestre. Il existe une large gamme de missiles sol-sol, avec des portées allant de quelques centaines de mètres à plusieurs dizaines ou même plusieurs centaines de kilomètres et capables de transporter une charge utile de quelques kilogrammes à quelques tonnes. Les rampes de lancement de ces missiles peuvent être installées sur des bases fixes ou sur des engins mobiles. Les grands défilés militaires ont rendu familière l'image de ces missiles sol-sol. Ces derniers ont fait aussi rapidement leur entrée dans la marine militaire : de nombreux croiseurs sont maintenant dotés de rampes de lancement à la place des classiques canons. Ils ont reçu l'appellation de missiles sol-sol, bien qu'étant utilisés sur mer.

Les missiles sol-air sont des missiles antiaériens, expédiés depuis une base terrestre contre des avions en vol. Ces missiles sont très efficaces contre les avions de bombardement ou de transport qui, à cause de leur grande taille, ne sont ni très maniables ni très rapides, donc incapables de changer facilement d'altitude ou de cap. Certains missiles sol-air sont pourvus d'un radar et d'un dispositif de guidage automatique ; ils sont alors capables d'atteindre leur cible, même si celle-ci modifie sa route. L'efficacité de ces missiles a rendu discutable l'utilité des bombardements massifs, les pertes en avions étant trop importantes.

En revanche, les missiles sol-air (comme du reste l'artillerie antiaérienne conventionnelle) sont moins efficaces contre les avions légers de combat et de chasse, beaucoup plus petits et extrêmement mobiles. Ces mêmes avions, qui étaient dotés antérieurement de petits canons à tir rapide, habituellement fixes, sont équipés aujourd'hui de missiles; ils sont généralement installés sous les ailes. Les avions de combat destinés à attaquer des objectifs terrestres sont armés de missiles air-sol, tandis que les avions de chasse, propres au combat aérien, transportent des missiles air-air. En général, les missiles air-sol sont de plus grande taille et possèdent un pouvoir destructeur supérieur à celui des missiles air-air ; en effet, un projectile de calibre réduit est suffisant pour endommager irrémédiablement un avion.

Pratiquement, tous les missiles air-air, air-sol, et sol-sol de petites et moyennes dimensions utilisent des propergols solides qui présentent l'avantage d'un transport, d'un stockage faciles et d'une utilisation rapide. Pour les missiles sol-air, lancés le plus souvent à partir de bases fixes, on peut employer du propergol liquide, en donnant toutefois la préférence à des matériaux faciles à stocker et à manipuler (par exemple l'acide nitrique et des mélanges d'hydrocarbures). Pour les missiles sol-sol de grandes dimensions, on tend aujourd'hui à réaliser des propergols solides en blocs, de taille croissante, afin d'éliminer le problème du stockage et de réduire au minimum les manœuvres préparatoires. Les missiles balistiques intercontinentaux continuent cependant à utiliser des propergols liquides à cause de leur rendement supérieur et de la difficulté à réaliser des propergols solides en blocs de grande taille; en outre, les propergols liquides permettent de diriger les missiles de manière plus précise. En effet, une fois mis à feu, le propergol solide continue à brûler jusqu'à épuisement, ce qui rend impossible une éventuelle correction de trajectoire par modification de la poussée, opération facile à réaliser avec un missile à propergol liquide. Les experts militaires discutent sur les diverses possibilités des missiles, sur l'opposition missiles-artillerie conventionnelle, sur la concurrence du missile à moyenne portée face aux grands bombardiers et, d'autre part, sur la vulnérabilité des avions de guerre, en général, par rapport aux missiles antiaériens modernes. Les opinions sont diverses et controversées, mais les progrès incessants dans ce domaine font pencher la balance vers cette arme nouvelle, sans pour autant songer à éliminer les engins classiques comme le canon et le mortier.

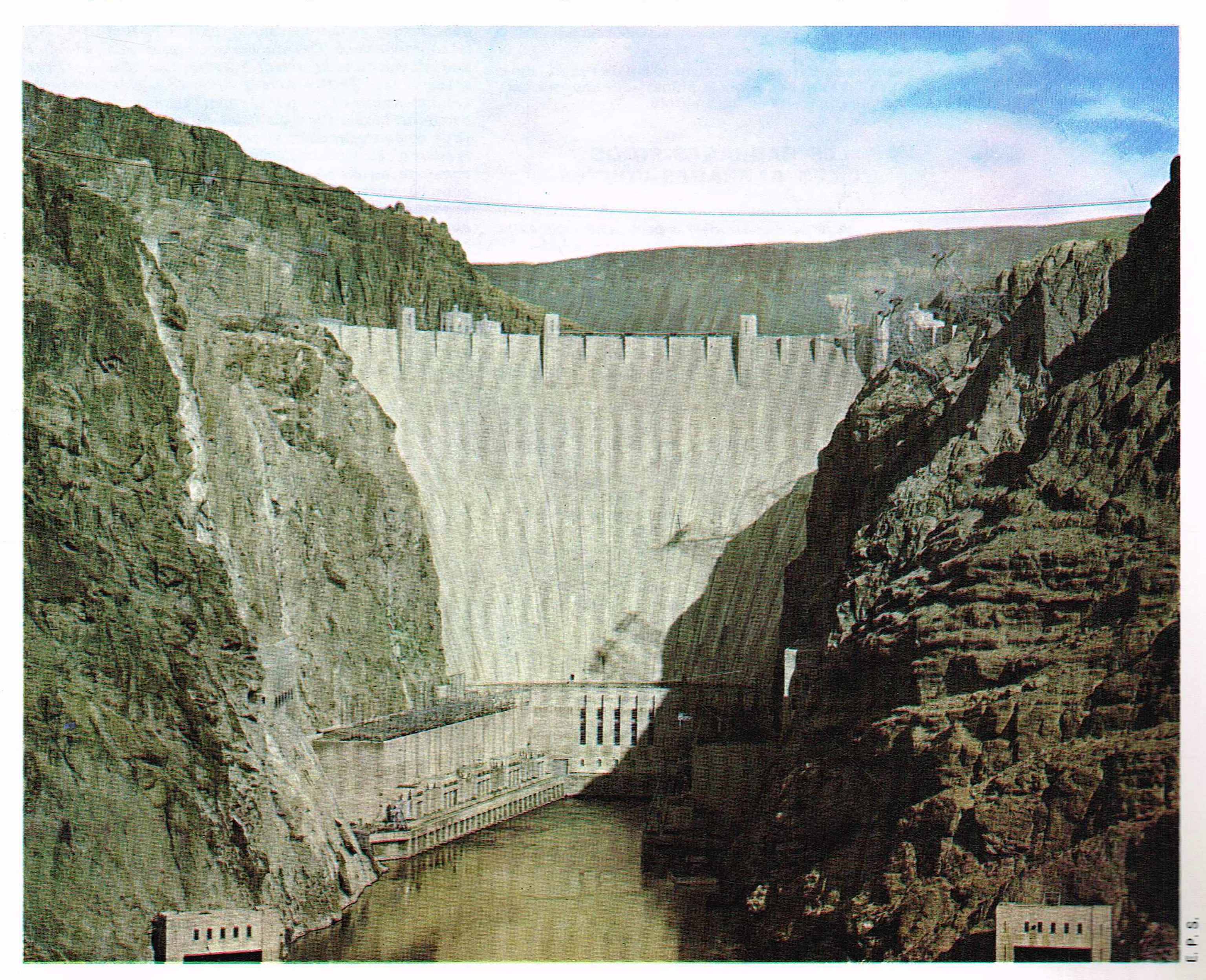
LES BARRAGES

Les barrages sont des ouvrages de maçonnerie, destinés à réaliser des bassins de retenue d'eau. On distingue les barrages maritimes, pour la protection des côtes ou des ports contre les vagues, et les barrages de vallées pour créer des plans d'eau destinés à l'irrigation ou à la production d'énergie électrique, assurant aussi la protection contre les inondations et la régulation des cours d'eau.

Les digues maritimes reposent sur une fondation obtenue en immergeant au fond de la mer des morceaux de roche ou des blocs de ciment spécialement fabriqués pour résiter à l'usure de l'eau ; très vite, ces éléments se stabilisent sous l'effet combiné du poids et de la pression hydrostatique et forment une large base possédant une résistance suffisante pour supporter le poids des superstructures. Sur cette base, on ancre la partie en élévation du barrage, qui sera construite en maçonnerie ou en béton et aura des parois le plus souvent verticales.

Le problème de la construction des barrages de retenue pour la création de plans d'eau artificiels dans les vallées est généralement beaucoup plus complexe ; ces plans d'eau constituent des réservoirs pour la production d'énergie hydro-électrique ou pour l'irrigation, voire pour ces deux fonctions à la fois. Dans ce cas, l'eau exerce sa poussée uniquement sur une face de l'ouvrage ; le principal problème qui se pose est donc celui de la résistance à la pression, qui peut atteindre des valeurs énormes lorsque le barrage est très haut (la hauteur des barrages dépasse parfois une centaine de mètres). Les principaux types de barrages sont les barrages-poids, les barrages-voûtes, les barrages à contreforts et les barrages à voûtes multiples.

Le barrage de Hoover Dam sur le Colorado (U. S. A.).


E. P. S.



N. Cirani

Un exemple de barrage-voûte sur le lac de Fedaia, dans les Alpes Tridentines. Dans la plupart des cas, ces barrages sont construits en béton armé.

LES BARRAGES-POIDS ET LES BARRAGES-VOUTES

Le barrage-poids a une section verticale de forme à peu près triangulaire ou trapézoïdale à paroi aval inclinée et une section horizontale rectiligne ou, souvent, courbe. Ce type de barrage est en équilibre statique sous l'action de deux facteurs principaux : la poussée hydrostatique due au volume de l'eau retenue (poussée qui croît du haut vers le bas, avec une résultante horizontale), et le poids de la structure. (force résultante verticale) ; par conséquent, un tel barrage doit présenter une très grande épaisseur, du moins à sa base. Mais il faut aussi tenir compte de l'action de la glace et, surtout, des effets des sous-pressions, qui constituent un danger insidieux et redoutable. En effet, les infiltrations d'eau sous les fondations du barrage créent une pression parasite s'exerçant vers le haut ; celle-ci a un effet équivalent à une diminution du poids du barrage et trouble par conséquent l'indispensable équilibre entre le poids de l'ouvrage et la pression de l'eau retenue. Cette action dépend de la nature plus ou moins perméable du terrain. La fondation doit reposer sur une couche de roche suffisamment compacte pour offrir la résistance et l'imperméabilité nécessaires ; la roche peut être consolidée par injection de mortier de ciment sous forte pression. Le barrage est édifié soit en maçonnerie avec des blocs de roche soigneusement ourdés, soit en béton coulé. Afin de ne pas contrarier les phénomènes de dilatation et de retrait qui font varier le volume de la construction, phénomènes dus aux variations thermiques au moment de la prise, on prévoit des joints de dilatation et de retrait.

Lorsque le terrain de base n'offre pas une stabilité et une consistance suffisantes, on adopte un autre type de barrage, le barrage-voûte. Il s'agit d'une structure à coupe horizontale curviligne (convexité amont), qui transmet, sous forme de poussées, aux deux parois latérales l'effort exercé par la pression des eaux, de la même manière qu'une voûte classique transmet aux pieds-droits les charges verticales qui s'exercent sur elle. Dans le cas des barrages-voûtes, une étude attentive de la nature des terrains dans lesquels sont ancrées leurs extrémités est nécessaire ; il faut que ceux-ci soient aptes à supporter la poussée qui s'exerce sur eux, le fond n'ayant à supporter que le poids de la structure et quelques actions accessoires. Dans la grande majorité des cas, les barrages-voûtes sont réalisés en béton.

AUTRES TYPES DE BARRAGES

Un système dérivé du précédent est celui du barrage à contreforts et à voûtes multiples. Il consiste en une série de contreforts verticaux, d'épaisseur croissante vers la base ; sur la face amont de ceux-ci s'appuie une série de voûtes, légèrement inclinées vers l'aval et présentant une convexité amont, comme dans le cas précédent. Ces voûtes transmettent aux contreforts les poussées hydrostatiques de l'eau. Il est donc nécessaire que ceux-ci soient ancrés sur un terrain compact, de nature très uniforme et résistante, pour empêcher d'éventuels glissements, qui pourraient provoquer des déséquilibres graves et même la ruine de l'ouvrage. Les structures et contreforts sont généralement en béton armé. Les barrages de ce type, comme toutes les structures à voûtes, en raison de la poussée qu'ils exercent sur les points d'ancrage, peuvent être dangereusement affaiblis par un affaissement même léger de ces derniers ; l'usage de multiples précautions dans l'étude du terrain et dans l'exécution de l'ouvrage est donc indispensable. Les voûtes entre les contreforts sont parfois remplacées par des plaques en béton armé, surtout lorsque les intervalles sont faibles. Dans ce cas, la structure travaille statiquement comme celle d'un plancher reposant sur des poutres.

Un problème important que l'on rencontre dans la construction des barrages est celui des évacuateurs de crues ; en effet, bien que les dimensions soient largement calculées, un barrage peut se révéler insuffisant pour contenir l'eau amenée par les grandes crues. L'eau ne doit pas dépasser un certain niveau, au-dessus duquel se trouve le couronnement libre du barrage ; pour cela, elle doit pouvoir s'écouler librement à travers une série d'orifices spéciaux appelés déversoirs, que l'on ménage latéralement. Les dimensions de ces orifices sont calculées de manière à permettre l'évacuation du débit de la plus grande crue (dite crue catastrophique) enregistrée dans le passé pour le cours d'eau considéré. En plus des déversoirs, un barrage comporte un ou plusieurs évacuateurs de fond ; ils sont constitués par des tubes qui traversent la base du barrage et sont munis de vannes commandées par un mécanisme approprié. Ces évacuateurs sont mis en service pour faire baisser le niveau des eaux et peuvent même permettre de vider éventuellement le bassin.

La construction d'un barrage est régie par des règlements très rigoureux, amplement justifiés par les risques énormes que comporte la rupture de l'ouvrage. Tous les facteurs susceptibles d'influer sur la stabilité du barrage, comme le poids de la structure en béton, les efforts de nature thermique auxquels elle est soumise, la poussée hydrostatique sur le parement amont, la pression interstitielle, la poussée de la glace sur le couronnement, l'action des forces sismiques dans les zones volcaniques, sont donc sérieusement vérifiés à l'étude de manière à éviter tout accident, et la surveillance reste constante durant les travaux jusqu'à la réalisation finale.

Vue du barrage-poids du Bull Shoal Reservoir, dans l'Arkansas (U. S. A.).

Grant Heilman